

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Marko Mađer

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Dragan Žeželj

Student:

Marko Mader, univ. bacc. ing. mech.

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se doc.dr.sc. Draganu Žeželju na korisnim savjetima i uputama prilikom izrade ovog rada te pomoći oko nabavke *EDEM* softverskog alata.

Zahvaljujem se Nevenku Šimuniću, dipl. ing. el. teh. na informatičkoj podršci vezanoj za izradu ovog rada.

Posebno se zahvaljujem obitelji i djevojci Ani koji su mi pružili bezgraničnu podršku tijekom trajanja studija.

Marko Mader



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: Marko Mader

Mat. br.: 0035182763

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analiza posipanja česticama soli ovisno o geometriji i brzini vrtnje posipnog diska te veličini čestica metodom diskretnih elemenata**
Naslov rada na engleskom jeziku: **DEM analysis of a salt particles distribution depending on a geometry and rotation speed of a spreading disc and particles sizes**

Opis zadatka:

Norme i pravilnici u području zimskog održavanja prometnica propisuju rigorozne kriterije za posipanje česticama soli. U cilju odabira konstrukcijskog rješenja koje će zadovoljiti te kriterije potrebno je provesti analizu posipanja česticama soli primjenom metode diskretnih elemenata (DEM - Discrete Element Method). Analizu treba provesti prema uputama za dobivanje certifikata Europskog udruženja proizvođača komunalne opreme (EUnited- European Association of Municipal Equipment Manufacturers).

Tijekom razmatranja rješenja potrebno je uzeti u obzir:

- rješenje se odnosi na tip posipača oznake A,
- različite geometrije posipnog diska (različiti broj, položaj i oblik lopatica) s naglaskom na jednostavnost u proizvodnji,
- različite brzine vrtnje posipnog diska,
- različite veličine čestica soli,
- rješenje se odnosi samo na sustav za distribuciju soli,
- sustav za distribuciju će raditi u izrazito korozivnoj okolini,
- ključne dijelove sustava za distribuciju potrebno je dimenzionirati na temelju odgovarajućih proračuna i provedene analize.

Vrijednosti potrebne za proračun i odabir pojedinih komponenti usvojiti iz postojećih rješenja sličnih sustava, iskustvenih vrijednosti te u dogovoru s mentorom. DEM analizu provesti u dostupnom softverskom paketu EDEM te u dogovoru s mentorom odrediti opseg provedene analize.

Kompletno konstrukcijsko rješenje sustava za distribuciju modelirati u odabranom 3D programu i razraditi do razine radioničkih crteža.

U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

17. studenog 2016.

Rok predaje rada:

19. siječnja 2017.

Predviđeni datumi obrane:

25., 26. i 27. siječnja 2017.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Dragan Žeželj

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VII
POPIS OZNAKA	VIII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY	XI
1. UVOD.....	1
2. ZAKONSKA REGULATIVA	5
3. KLASIFIKACIJA I CERTIFIKACIJA POSIPAČA.....	7
3.1. Pojmovi i definicije	7
3.2. Podjela posipača.....	9
3.3. Ispitni posipni materijal	9
3.4. Procedura za dobivanje certifikata	10
3.4.1. Predispitivanje.....	10
3.4.2. Statičko ispitivanje.....	11
3.4.3. Dinamičko ispitivanje	12
4. EDEM SOFTVERSKI PAKET	16
4.1. Općenito o EDEM softverskom paketu	16
4.2. Metoda diskretnih elemenata (<i>DEM - Discrete Element method</i>)	16
4.2.1. Lagrangeov i Eulerov zapis gibanja čestice.....	17
4.3. Algoritam izračunavanja vrijednosti fizikalnih veličina u EDEM-u.....	19
4.4. Mehanički modeli dodira	22
4.4.1. Hertz-Mindlinov model dodira dvaju sfera.....	22
4.5. Sučelje EDEM softverskog paketa.....	25
4.6. Primjena EDEM softverskog paketa	27
4.7. Međusobno spajanje EDEM softverskog paketa s ostalim računalnim paketima.....	28
4.8. Baza materijala (<i>Generic EDEM Material Model - GEMM Wizard</i>)	30
5. DEFINIRANJE ULAZNIH PODATAKA SIMULACIJE.....	32
5.1. Definiranje geometrije modela.....	35
6. REZULTATI SIMULACIJE	38
6.1. Rezultati – centrirani otvor štitnika (0°)	39
6.1.1. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°)	39
6.1.2. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°).....	42
6.1.3. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)	45
6.1.4. Rezultati 4 konkavne lopatice – (0°).....	48
6.1.5. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°).....	51
6.1.6. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)	54
6.1.7. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°).....	57

6.1.8.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°)	60
6.1.9.	Zaključak rezultata s centriranim otvorom štitnika – (0°)	63
6.2.	Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 10° u desno (D- 10°)	64
6.2.1.	Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (D- 10°)	64
6.2.2.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D- 10°)	67
6.2.3.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D- 10°)	70
6.2.4.	Rezultati 4 konkavne lopatice (D- 10°)	73
6.2.5.	Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (D- 10°)	76
6.2.6.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D- 10°)	79
6.2.7.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D- 10°)	82
6.2.8.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D- 10°)	85
6.2.9.	Analiza i zaključak rezultata sa zakrenutim otvorom štitnika za 10° u desno – (D- 10°)	88
6.3.	Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 20° u desno (D- 20°)	90
6.3.1.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D- 20°)	90
6.3.2.	Rezultati 4 konkavne lopatice (D- 20°)	93
6.3.3.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D- 20°)	96
6.3.4.	Rezultati 6 konkavnih lopatica (D- 20°)	99
6.3.5.	Zaključak rezultata s zakrenutim otvorom štitnika za 20° u desno – (D- 20°) ..	102
6.4.	Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 30° u desno (D- 30°)	103
6.4.1.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D- 30°)	103
6.5.	Usporedba ispitivanja koja zadovoljavaju sve propisane zahtjeve	107
7.	PRIKAZ POSIPAČA I SUSTAVA ZA DISTRIBUCIJU POSIPNOG MATERIJALA	110
8.	ZAKLJUČAK	112
	LITERATURA	113
	PRILOZI	114

POPIS SLIKA

Slika 1.	Traktorski priključak za posipanje soli (lijevo) i sustav za distribuciju soli (desno)	1
Slika 2.	Fazni dijagram vode i natrij klorida (NaCl)	2
Slika 3.	Ovisnost otopive mase leda i potrebnog vremena o temperaturi i aktivnom sredstvu	3
Slika 4.	Ispitno mjerno područje za dinamičko ispitivanje	14
Slika 5.	Primjer kontinuiranog (Eulerovog) i diskretnog (Lagrangeovog) modela rezne oštrice i materijala koji se reže	17
Slika 6.	Opis gibanja čestice dm u pravokutnom koordinatnom sustavu	17
Slika 7.	Sile i momenti koji djeluju na česticu	20
Slika 8.	Numerička integracija po koraku	20
Slika 9.	Princip mekih sfera	21
Slika 10.	<i>Hertz-Mindlinov</i> model dodira dviju sfera	24
Slika 11.	<i>EDEM Creator</i> sučelje	25
Slika 12.	<i>EDEM Analyst</i> sučelje	26
Slika 13.	Primjena <i>EDEM</i> -a u poljoprivredi	27
Slika 14.	Primjer integracije CFD <i>ANSYS Fluent</i> -a i <i>EDEM</i> -a	28
Slika 15.	Primjer integracije <i>MBD Adams</i> i <i>EDEM</i> -a	28
Slika 16.	Primjer integracije <i>ANSYS Workbench</i> a i <i>EDEM</i> -a	29
Slika 17.	Prvi (lijevo) i drugi (desno) korak odabira materijala u bazi materijala	30
Slika 18.	Treći korak odabira materijala u bazi materijala	30
Slika 19.	Zadnji korak odabira materijala u bazi podataka	31
Slika 20.	Čestica soli formirana pomoću 3 sfere	34
Slika 21.	Osam različitih konfiguracija rotirajućeg diska	35
Slika 22.	Četiri različite konfiguracije štitnika s različitim zakretom otvora	36
Slika 23.	Definirana geometrija simulacije s kinematikom	37
Slika 24.	Mjerna polja simulacije	38
Slika 25.	Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°) – 110 min^{-1}	40
Slika 26.	Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°) – 150 min^{-1}	40
Slika 27.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – radijalno (0°)	41
Slika 28.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – radijalno (0°)	41
Slika 29.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°) – 110 min^{-1}	43
Slika 30.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°) – 150 min^{-1}	43
Slika 31.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)	44
Slika 32.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)	44
Slika 33.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°) – 110 min^{-1}	46
Slika 34.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°) – 150 min^{-1}	46
Slika 35.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)	47
Slika 36.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)	47
Slika 37.	Rezultati 4 konkavne lopatice (0°) – 110 min^{-1}	49
Slika 38.	Rezultati 4 konkavne lopatice (0°) – 150 min^{-1}	49
Slika 39.	Dijagram posipanja 4 konkavne lopatice (0°)	50
Slika 40.	Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (0°)	50
Slika 41.	Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°) – 110 min^{-1}	52
Slika 42.	Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°) – 150 min^{-1}	52
Slika 43.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – radijalno (0°)	53
Slika 44.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – radijalno (0°)	53

Slika 45.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°) – 110 min^{-1}	55
Slika 46.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°) – 150 min^{-1}	55
Slika 47.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)	56
Slika 48.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)	56
Slika 49.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°) – 110 min^{-1}	58
Slika 50.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°) – 150 min^{-1}	58
Slika 51.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°)	59
Slika 52.	Dijagram rasipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)	59
Slika 53.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°) – 110 min^{-1}	61
Slika 54.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°) – 150 min^{-1}	61
Slika 55.	Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica (0°)	62
Slika 56.	Dijagram rasipanja 6 konkavnih lopatica (0°)	62
Slika 57.	Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	65
Slika 58.	Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	65
Slika 59.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - radijalno ($D-10^\circ$)	66
Slika 60.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - radijalno ($D-10^\circ$)	66
Slika 61.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	68
Slika 62.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	68
Slika 63.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno ($D-10^\circ$)	69
Slika 64.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno ($D-10^\circ$)	69
Slika 65.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	71
Slika 66.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	71
Slika 67.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$)	72
Slika 68.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$)	72
Slika 69.	Rezultati 4 konkavne lopatice ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	74
Slika 70.	Rezultati 4 konkavne lopatice ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	74
Slika 71.	Dijagram posipanja 4 konkavne lopatice ($D-10^\circ$)	75
Slika 72.	Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice ($D-10^\circ$)	75
Slika 73.	Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	77
Slika 74.	Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	77
Slika 75.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - radijalno ($D-10^\circ$)	78
Slika 76.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica - radijalno ($D-10^\circ$)	78
Slika 77.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	80
Slika 78.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	80
Slika 79.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno ($D-10^\circ$)	81
Slika 80.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno ($D-10^\circ$)	81
Slika 81.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	83
Slika 82.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	83
Slika 83.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$)	84
Slika 84.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatice - tangencijalno druga strana ($D-10^\circ$)	84
Slika 85.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – ($D-10^\circ$) – 110 min^{-1}	86
Slika 86.	Rezultati 6 konkavnih lopatica – ($D-10^\circ$) – 150 min^{-1}	86
Slika 87.	Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica ($D-10^\circ$)	87
Slika 88.	Dijagram rasipanja 6 konkavnih lopatica ($D-10^\circ$)	87
Slika 89.	Dijagram posipanja za ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve ($D-10^\circ$)	88
Slika 90.	Dijagram rasipanja za ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve ($D-10^\circ$)	89
Slika 91.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana ($D-20^\circ$) – 110 min^{-1}	91
Slika 92.	Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana ($D-20^\circ$) – 150 min^{-1}	91

Slika 93.	Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno – druga strana (D-20°)	92
Slika 94.	Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno – druga strana (D-20°)	92
Slika 95.	Rezultati 4 konkavne lopatice (D-20°) – 110 min ⁻¹	94
Slika 96.	Rezultati 4 konkavne lopatice (D-20°) – 150 min ⁻¹	94
Slika 97.	Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (D-20°)	95
Slika 98.	Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (D-20°)	95
Slika 99.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 110 min ⁻¹	97
Slika 100.	Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 150 min ⁻¹	97
Slika 101.	Dijagram posipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°)	98
Slika 102.	Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°)	98
Slika 103.	Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°) – 110 min ⁻¹	100
Slika 104.	Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°) – 150 min ⁻¹	100
Slika 105.	Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica (D-20°)	101
Slika 106.	Dijagram rasipanja 6 konkavne lopatice (D-20°)	101
Slika 107.	Rezultati 6 ravnih lopatice – tangencijalno druga strana (D-30°) – 110 min ⁻¹	105
Slika 108.	Rezultati 6 ravnih lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°) – 200 min ⁻¹	105
Slika 109.	Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°)	106
Slika 110.	Dijagram rasipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-30°)	106
Slika 111.	Dijagram posipanja ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve	107
Slika 112.	Dijagram rasipanja ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve	108
Slika 113.	Izometrija traktorskog posipača	110
Slika 114.	Detalj distribucijskog sustava	111
Slika 115.	Detalj distribucijskog sustava sa sabirnim i vertikalnim lijevcima	111

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija posipača.....	9
Tablica 2. Karakteristike ispitnog posipnog materijala – morska sol	9
Tablica 3. Veličina čestica ispitnog posipnog materijala – morska sol.....	10
Tablica 4. Parametri statičkog ispitivanja	11
Tablica 5. Parametri dinamičkog ispitivanja.....	12
Tablica 6. Lista testiranih posipača na Sveučilištu Aarhus, Danska	15
Tablica 7. Mehanička svojstva čelika.....	32
Tablica 8. Mehanička svojstva soli (NaCl)	32
Tablica 9. Mehanička svojstva betona	32
Tablica 10. Koeficijenti međudjelovanja materijala simulacije	33
Tablica 11. Veličina i broj čestica u ispitivanju	33
Tablica 12. Podaci za formiranje čestica soli različitih veličina	34
Tablica 13. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°)	39
Tablica 14. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)	42
Tablica 15. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)	45
Tablica 16. Rezultati 4 konkavne lopatice – (0°)	48
Tablica 17. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°)	51
Tablica 18. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°).....	54
Tablica 19. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°)	57
Tablica 20. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°).....	60
Tablica 21. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (D-10°)	64
Tablica 22. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D-10°).....	67
Tablica 23. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-10°)	70
Tablica 24. Rezultati 4 konkavne lopatice – (D-10°).....	73
Tablica 25. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (D-10°).....	76
Tablica 26. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D-10°).....	79
Tablica 27. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°).....	82
Tablica 28. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D-10°)	85
Tablica 29. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°)	90
Tablica 30. Rezultati 4 konkavne lopatice – (D-20°).....	93
Tablica 31. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°).....	96
Tablica 32. Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°)	99
Tablica 33. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°).....	103

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
2016/17_100_100_SK1	Posipač sklop
2016/17_100_200_SK2	Štitnik sklop
2016/17_100_200_R1	Baza štitnika
2016/17_100_200_R2	Plast štitnika
2016/17_100_200_R3	Sabirni lijevak
2016/17_100_200_R4	Ploča sabirnog lijevka
2016/17_100_300_SK3	Disk sklop
2016/17_100_300_R1	Baza diska
2016/17_100_300_R2	Lopatica diska
2016/17_100_400_R1	Nosač štitnika
2016/17_100_500_R1	Glavina
2016/17_100_600_R1	Gumeni čep
2016/17_100_700_R1	Lijevak 1
2016/17_100_700_R2	Lijevak 2

NAPOMENA: Priložena dokumentacija je samo za masno otisnute brojeve crteža

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
\vec{a}	m/s ²	Ubrzanje čestice
d_D	mm	Promjer bubnja
E^*	Pa	Youngov modul
e	-	Koeficijent restitucije
F_c	N	Kontaktna sila
F_n^d	N	Sile prigušenja
F_g	N	Sila gravitacije
F_n	N	Normalna sila
F_{nc}	N	n-ta kontaktna sila
F_t	N	Tangencijalna sila
G^*	Pa	Ekvivalentni modul smicanja
$G_{\check{c}}$	Pa	Modul smicanja čelika
G_s	Pa	Modul smicanja soli
G_b	Pa	Modul smicanja betona
I	kg/m ²	Moment inercije
\vec{i}_1	m	Jedinični vektor u smjeru osi x
\vec{i}_2	m	Jedinični vektor u smjeru osi y
\vec{i}_3	m	Jedinični vektor u smjeru osi z
M	Nm	Moment
m	kg	Masa čestice
m^*	kg	Ekvivalentna masa
m_p	kg	Posipana masa po polju
m_{dop}	kg	Dopuštena masa po polju
$N_{\check{c}}$	1/s	Broj čestica po sekundi
n	min ⁻¹	Broj okretaja diska
P-max	kg/m ²	Maksimalna masa posipanja po polju
1D	kg/m ²	Posipanje 1. metar desno od centralne osi posipača
1L	kg/m ²	Posipanje 1. metar lijevo od centralne osi posipača
2L	kg/m ²	Posipanje 2. metar lijevo od centralne osi posipača
(2L,1D) P-min	kg/m ²	Minimalna masa posipanja za polja 2L i 1D
(1L) P-min	kg/m ²	Minimalna masa posipanja za polje
RD	kg/m ²	Rasipanje desno od centralne osi
RL	kg/m ²	Rasipanje lijevo od centralne osi
R^*	m	Ekvivalentni radijus
R_i	m	Radijus i -te sfere
R_j	m	Radijus j -te sfere

\vec{r}	m	Vektor položaja čestice
t	s	Vrijeme
S_n	N/m	Normalna krutost
S_t	N/m	Tangencijalna krutost
Ukupno R	g	Ukupno rasipanje
\vec{v}	m/s	Brzina čestice
v_i	m/s	Brzina čestice zapisana u indeksnom zapisu
\vec{v}_i	m/s	Brzine čestice i prije sudara
\vec{v}_j	m/s	Brzine čestice j prije sudara
\vec{v}'_i	m/s	Brzine čestice i nakon sudara
\vec{v}'_j	m/s	Brzine čestice j nakon sudara
$\overline{v_n^{rel}}$	m/s	Normalna komponenta relativne brzine
$\overline{v_t^{rel}}$	m/s	Tangencijalna komponenta relativne brzine
x_1	m	Prostorna koordinata u smjeru osi x
x_2	m	Prostorna koordinata u smjeru osi y
x_3	m	Prostorna koordinata u smjeru osi z
x_i	m	Vektor položaja čestice zapisan u indeksnom zapisu
y_1	m	Materijalna koordinata u smjeru osi x
y_2	m	Materijalna koordinata u smjeru osi y
y_3	m	Materijalna koordinata u smjeru osi z
y_i	m	Materijalna koordinata zapisana u indeksnom zapisu
ϑ	°C	Temperatura
ω	rad/s	Kutna brzina
δ_n	m	Normalno preklapanje
δ_t	m	Tangencijalno preklapanje
ν_b	-	Poissonov koeficijent betona
$\nu_{\check{c}}$	-	Poissonov koeficijent čelika
ν_s	-	Poissonov koeficijent soli
ν_i	-	Poissonov koeficijent i -te sfere
ν_j	-	Poissonov koeficijent j -te sfere
ρ_b	kg/m ³	Gustoća betona
$\rho_{\check{c}}$	kg/m ³	Gustoća čelika
ρ_s	kg/m ³	Gustoća soli
μ_s	-	Koeficijent statičkog trenja
μ_k	-	Koeficijent trenja kotrljanja
q_{m1}	kg/min	Maseni protok
q_{m2}	kg/s	Maseni protok

SAŽETAK

U radu je obrađena tema „Analiza posipanja česticama soli ovisno o geometriji i brzini vrtnje posipnog diska te veličini čestica metodom diskretnih elemenata“. Tema se nadovezuje na temu završnog rada „Traktorski priključak za posipanje soli“, a u ovom radu se razrađuje i analizira sustav za distribuciju soli na podlogu. Ravnomjerno posipanje propisane mase posipnog materijala po jedinici površine (g/m^2) nosi mnogobrojne prednosti, što ekonomske, što u vidu osiguravanja sigurnog i nesmetanog prometovanja. Cilj ovog rada bio je pronaći kombinaciju parametara (vrsta i broj lopatica, brzina vrtnje posipnog diska i položaj otvora štitnika) koja zadovoljava rigorozne kriterije propisane normama i pravilnicima u području zimskog održavanja prometnica. U sklopu rada prvo je proveden uvid u zakonsku regulativu te opisan postupak klasifikacije i certifikacije posipača. Nakon toga slijedi poglavlje u kojem je objašnjena metoda diskretnih elemenata zajedno sa softverskim paketom *EDEM* koji je korišten za rješavanje i analizu zadanog problema. Slijedi opis ulaznih podataka simulacije te analiza dobivenih rezultata. Rezultat analize je odabrana kombinacija ranije spomenutih parametara koja je konstrukcijski razrađena i oblikovana u 3D model s odgovarajućom tehničkom dokumentacijom u 3D CAD (*Solidworks*) softveru.

Ključne riječi: posipač soli, zimsko održavanje prometnica, metoda diskretnih elemenata

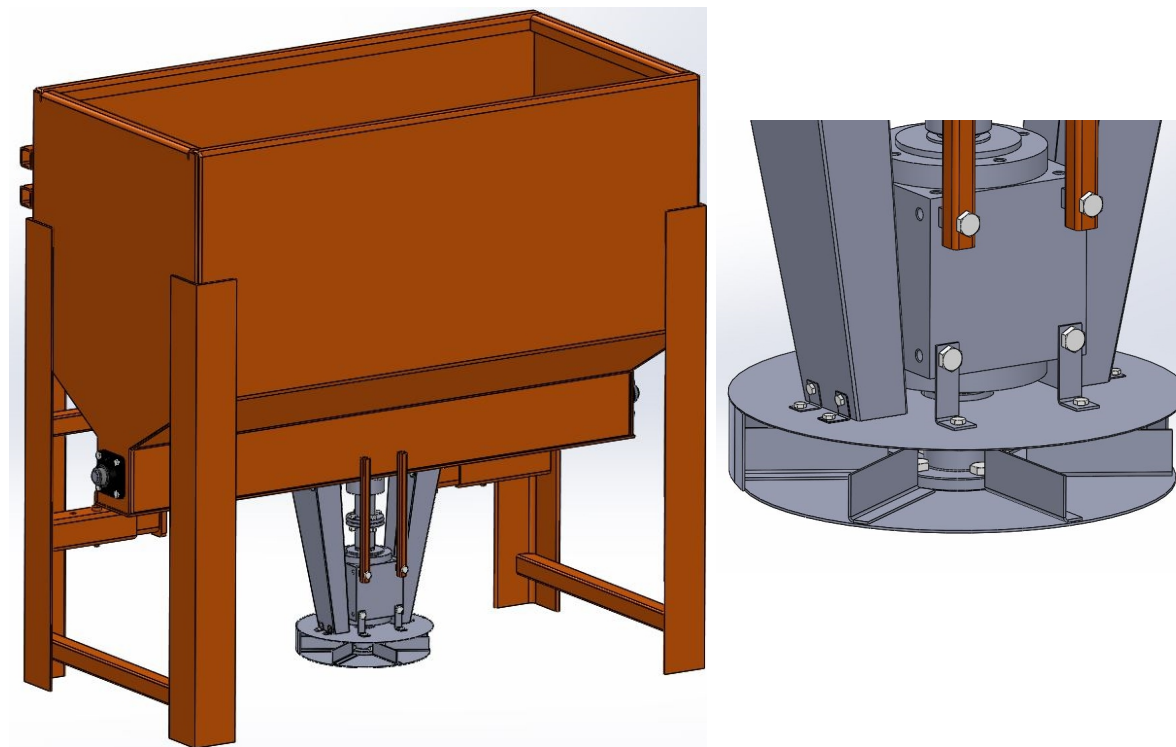
SUMMARY

Title of the master's thesis is „DEM analysis of a salt particles distribution depending on a geometry and rotation speed of a spreading disc and particles sizes“. Master's thesis continues on a bachelor's thesis „Agricultural vehicle extension for salt spreading“. In master's thesis focus is on a development and analysis of salt spreading assembly and spreading pattern. Using a uniform spreading pattern has many benefits, economical as well as ensuring safe and undisturbed traffic. Purpose of this thesis was to find which combination of parameters (type and numbers of blades, rotational speed of a spreading disc and position of an opening) fulfils rigorous performance requirements for winter road maintenance. In the first part of the work norms and regulations are given, then follows a chapter about classification and certification of salt spreaders. Next chapter is about DEM (discrete element method) combined with introduction to EDEM software which was used to solve and analyze given problem. After that follows a detailed description of the input data and finally analysis of output data. Result of the analysis is chosen combination of earlier mentioned parameters with corresponding 3D model and technical documentation created in 3D CAD (Solidworks) software.

Key words: salt spreader, winter road maintenance, DEM (discrete element method)

1. UVOD

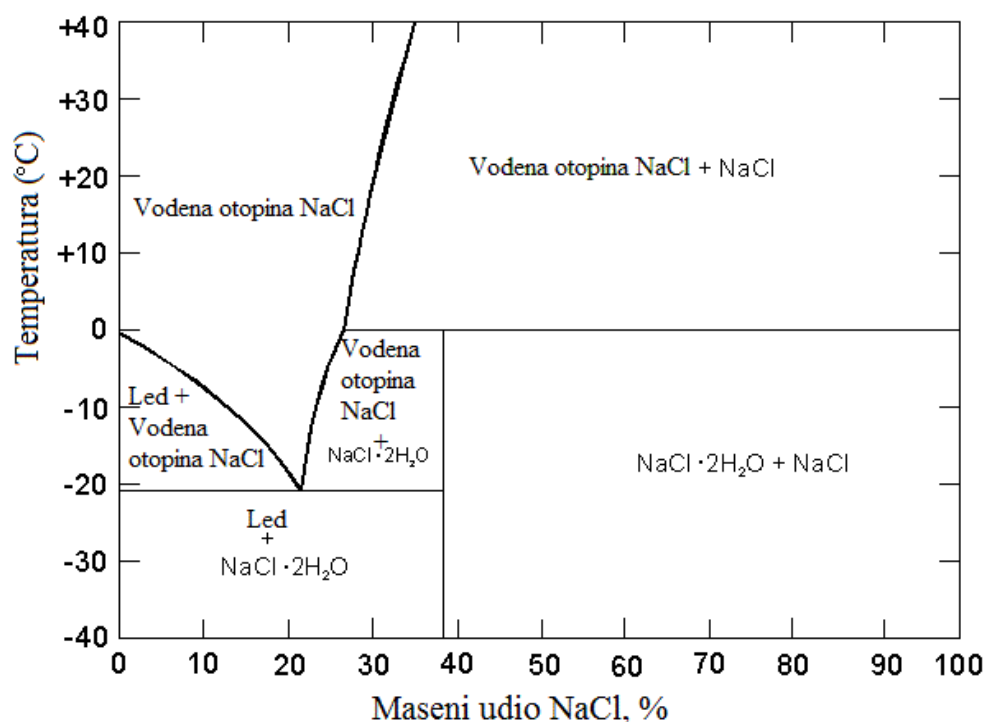
Tema diplomskog rada je „Analiza posipanja česticama soli ovisno o geometriji i brzini vrtnje posipnog diska te veličini čestica metodom diskretnih elemenata“ koja se nadovezuje na temu završnog rada „Traktorski priključak za posipanje soli“, a u ovom se radu razrađuje i analizira sustav za distribuciju soli na podlogu. Zbog potrebe za sigurnim i nesmetanim prometovanjem te ekonomski opravdanim gospodarenjem, potrebno je posipati točno određenu propisanu količinu posipnog materijala po jedinici površine koja osigurava najefikasnije odleđivanje prometnice uz najmanju potrošnju posipnog materijala. Neposredne prednosti korištenja propisane količine posipnog sredstva su smanjenje troškova nabave posipnog materijala te osiguranje najvećeg mogućeg prianjanja između guma i podloge u danim vremenskim uvjetima. Faktori koji utječu na otapanje leda na prometnici su: kemijska koncentracija aktivne tvari, vremenski uvjeti, temperatura podloge, gustoća prometa, širina posipanja te najvažniji faktor - vrijeme djelovanja aktivne tvari. Neposredne prednosti su također vrlo značajne zato jer se smanjuje agresivni korozivni utjecaj posipnog materijala i kemikalija na prometnu infrastrukturu te ekološki utjecaj na bližu i širu okolicu oko prometnica.



Slika 1. Traktorski priključak za posipanje soli (lijevo) i sustav za distribuciju soli (desno)

U ovom radu prvo će biti obrađena zakonska regulativa za zimsko održavanje prometnica odnosno „Pravilnik o održavanju cesta“ s odgovarajućim člancima koji se odnose na zimsku službu definirajući njihov opseg djelovanja te odgovarajuće norme koje propisuju zahtjeve i smjernice u konstruiranju opreme za zimsko održavanje prometnica.

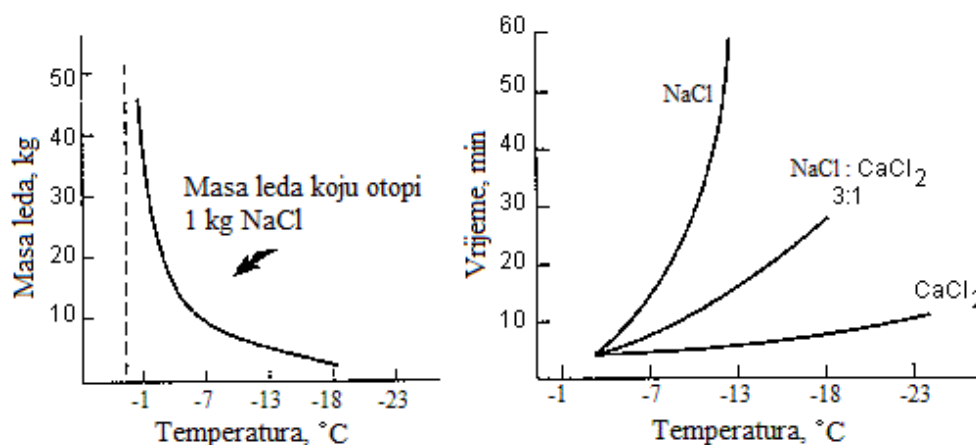
U drugom poglavlju bit će obrađena klasifikacija posipača zajedno s EUnitedovom (Europsko udruženje proizvođača komunalne opreme) procedurom za certifikaciju i ispitivanje posipača s objašnjenjem pojmova te opisom, parametrima i zahtjevima statičkog i dinamičkog ispitivanja. U narednom poglavlju bit će riječi o *EDEM* softverskom paketu koji će biti korišten u diplomskom radu kao paketu koji služi za simulaciju ispitivanja koja se provode u svrhu dobivanja EUnitedovog certifikata. Svrha korištenja ovog softverskog paketa je rano detektiranje potencijalnih skupih grešaka u kasnijim fazama razvoja proizvoda kao i optimiranje konstrukcije s ciljem što ravnomjernijeg raspršivanja posipnog materijala. U ovom poglavlju bit će ukratko obrađena metoda diskretnih elemenata (*DEM - Discrete Element Method*), sučelje, mogućnosti i primjena softvera na primjerima. Nakon toga slijedi opis ulaznih podataka te analiza izlaznih podataka provedenih simulacija. Naposljetku će biti dano tehničko rješenje koje daje najravnomjerniji profil posipanja zajedno s odgovarajućom tehničkom dokumentacijom.



Slika 2. Fazni dijagram vode i natrij klorida (NaCl)

Kada se govori o koncentraciji natrij klorida (NaCl) potrebnoj za odleđivanje prometnice ona ovisi o ranije spomenutim faktorima, a kao dobar pokazatelj može nam poslužiti fazni dijagram vode i natrij klorida [Slika 2]. Natrij klorid je sol koja se najčešće koristi kao aktivna tvar za posipanje prometnica. Iz faznog dijagrama [Slika 2] vidljivo je da je natrij klorid djelotvoran do najniže temperature od $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ s masenim udjelom NaCl od 23,3%. Povećanjem masenog udjela NaCl na više od 23,3% ne smanjuje se temperatura leđišta vode, a povećava se potrošnja posipnog materijala što posljedično poskupljuje cijenu održavanje prometnice po kilometru.

Kako bi aktivna tvar mogla početi djelovati potrebna je vlaga, odnosno voda koja može doći od leda s prometnice, vlage iz zraka ili može biti umjetno dodana. Takvo posipanje s umjetno dodanom vodom ili vodenom otopinom naziva se mokro posipanje i ono se sve češće koristi kako bi se smanjilo potrebno vrijeme za aktivaciju posipnog materijala. Na temperaturama nižima od efektivne vrijednosti djelovanja NaCl , koja je ovisno o vremenskim uvjetima i vrsti podloge viša za nekoliko stupnjeva od $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, koriste se soli magnezij klorida (MgCl_2), kalcij acetat ($\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) i magnezij acetat ($\text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$) zato jer imaju nižu minimalnu vrijednost temperature do koje je sredstvo djelotvorno, ali se zbog svoje više cijene najčešće ne koriste osim u posebno propisanim uvjetima.



Slika 3. Ovisnost otopive mase leda i potrebnog vremena o temperaturi i aktivnom sredstvu

Na lijevom grafu [Slika 3] vidljivo je kako sa sniženjem temperature opada masa leda koju je moguće otopiti s 1 kg NaCl , što znači da je za hladnijeg vremena potrebno posipati veću masu soli po jedinici površine kako bi se ostvario željeni učinak. Također je vidljivo da je ispod $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ posipanje NaCl nije moguće.

Na desnom grafu [Slika 3] prikazane su tri krivulje gdje je vidljivo da je za istu količinu posipnog materijala CaCl_2 potrebno kraće vrijeme kako bi se otopio led debljine 3,175 mm.

Također je vidljivo da potrebno vrijeme djelovanja aktivne tvari za otapanje zadane mase leda raste sa sniženjem temperature. Kod NaCl taj porast je značajan, dok je kod CaCl₂ karakteristika znatno položenija pa se stoga koristi CaCl₂ kada se želi skratiti potrebno vrijeme aktivacije ili kada su temperature niske. Također, vidljivo je da za temperature ispod -10°C posipanje s NaCl nije učinkovito. Zbog kombinacije različitih faktora, niže cijene i dostupnosti NaCl te dobrog svojstva otapanja CaCl₂, koriste se smjese tih dviju soli [2]. U narednom poglavlju bit će riječi o zakonskoj regulativi za zimsko održavanje prometnica.

2. ZAKONSKA REGULATIVA

Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture je u sklopu „Zakona o cestama“ (»Narodne novine«, broj 84/2011, 22/2013, 54/2013 i 148/2013) donijelo „Pravilnik o održavanju cesta“ s odgovarajućim člancima koji se odnose na zimsku službu definirajući njihov opseg djelovanja. Članci koji se odnose na zimsku službu su od članka 33. do članka 41. U daljnjem tekstu dani su članci koji se odnose na zadaće zimske službe kao i naputke o korištenju sredstva za otapanje[3].

Članak 33.

Zimska služba je pojam i uobičajeni izraz za cijeli niz radnji, mjera, postupaka i aktivnosti u zimskom razdoblju, koje imaju zadaću osigurati mogućnost odvijanja prometa cestama uz najveću moguću sigurnost sudionika u prometu i prihvatljive troškove.

Članak 36.

U zimskom razdoblju i u slučajevima kada postoji opasnost od nastanka poledice na cesti, izvođač radova održavanja ceste dužan je pojedine opasne dijelove ceste posipati sredstvima koja sprječavaju nastajanje poledice. Mjesta i način posipanja tih sredstava određuje se u odnosu na zemljišno-klimatske uvjete, položaj, nagib i značaj ceste te druge lokalne uvjete.

Na dijelu ceste gdje se poledica učestalo pojavljuje upravitelj ceste dužan je osigurati da izvođač redovnog održavanja ceste pravovremeno postavi dopunsku prometnu signalizaciju koja upozorava na moguću opasnost (prije svega na autocestama i glavnim cestovnim pravicima) ili da stalno poduzima mjere i radnje u cilju sprečavanja nastajanja poledice na kolniku.

Upravitelj ceste dužan je osigurati da izvođač redovnog održavanja ceste otapajuća sredstva za snijeg i led koja su štetna za okoliš upotrebljava samo u minimalnim količinama. Za posipanje navedenih otapajućih sredstava dozvoljeno je upotrebljavati samo takve uređaje koji omogućavaju precizno doziranje količine posipa. Kod određivanja količine posipa potrebno je uzimati u obzir količinu otapajućeg sredstva koji se već nalazi na kolniku.

Članak 41.

Po završetku zimskog razdoblja s javne ceste je potrebno ukloniti ostatke posipnog materijala (sipine), privremenu dopunsku prometnu signalizaciju i opremu, cestovne naprave i uređaje za osiguranje ceste i prometa.

Pravilnikom nije regulirana točna količina posipnog materijala po jedinici površine već se u daljnjem tekstu poziva na regulativu Europske unije. Republika Hrvatska je punopravna članica čime se obvezala usvojiti zakone i pravilnike u skladu s pravnom stečevinom Europske unije, u što neizbježno spada i Zakon o sigurnosti prometa na cestama.

Prema [4] proizvodi bi trebali biti skladu sa sljedećim normama:

- 1) EN 13021, Strojevi zimske službe – Sigurnosni zahtjevi,
- 2) EN 15144, Oprema za zimsko održavanje – Terminologija –Termini koji se koriste za opremu za zimsko održavanje,
- 3) EN 15431, Oprema za zimsko održavanje cesta – Sustavi pogona i njihovo upravljanje – Tehnički zahtjevi,
- 4) EN 15597-1 Oprema za zimsko održavanje – Uređaji za posipanje – 1.dio – Opći zahtjevi i definicije uređaja za posipanje.

U narednom poglavlju bit će riječ o samom testu i klasifikaciji posipača kao i količini posipnog materijala po jedinici površine.

3. KLASIFIKACIJA I CERTIFIKACIJA POSIPAČA

Proizvođači posipača udruženih u Europskom udruženju proizvođača komunalne opreme (*EUnited-European Association of Municipal Equipment Manufacturers*) u suradnji s tehnološkim institutom u Bygholmu, Danska osmislili su test u kojem svaki tip posipača mora zadovoljiti određene kriterije koji su u skladu s europskim normama. Cilj ovakvog jedinstvenog testa je dobiti rezultate o profilu i količini doziranog posipnog sredstva koje je moguće međusobno usporediti i tako dobiti stvarnu sliku preciznosti uređaja. Prije nastanka ovog testa svaki je proizvođač provodio ispitivanja sa svojim parametrima te je usporedba takvih rezultata bila gotovo pa i nemoguća.

Cilj svakog posipanja je osiguranje sigurnog prometovanja cestama u trenutnim vremenskim uvjetima s naglaskom na postizanju optimalne količine posipnog sredstva kako bi se ograničio utjecaj na okoliš te se tako smanjili ukupni troškovi posipanja (materijal, čišćenje, oštećenja uslijed djelovanja korozivnog medija). [4]

3.1. Pojmovi i definicije

Pojmovi i definicije su u skladu s normom EN 15144.

1. Mehanički model

Mehanički model čine posipač posipnog materijala za zimsko održavanje prometnica i njegova upravljačka jedinica.

2. Tipovi posipača

Tipovi posipača su definirani pomoću različitih parametara posipanja [Tablica 1].

3. Ispitni posipni materijal

Ispitni posipni materijal je definiran u poglavlju [3.3].

4. Test-ispitivanje

Test-ispitivanje se provodi s različitim parametrima posipanja (količina, posipna širina i brzina vozila) na mehaničkom modelu gdje su parametri zavisni o ispitnom posipnom materijalu i tipu posipača.

5. Kvalifikacija

Kvalifikacija se odnosi na mehanički model koji zadovoljava uvjete ovog testa. Ona se ostvaruje nakon niza provedenih statičkih i dinamičkih ispitivanja definiranih prema tipu posipača i ispitnom posipnom materijalu.

6. Izvješće o ispitivanju

Izvješće o ispitivanju je dokument u kojem su zapisani svi uvjeti i rezultati provedenog ispitivanja za kvalifikaciju.

7. Tehnički certifikat

Tehnički certifikat se donosi za kvalificirani mehanički model. Ako se više kvalifikacija odnosi na isti mehanički model, koje su postignute različitim parametrima (ispitni posipni materijal i tip posipača), cjelokupni rezultati ispitivanja bit će dani u istom tehničkom certifikatu.

8. Vanjske trake

Vanjske trake su dvije trake širine 1 m koje graniče s lijevom i desnom stranom teorijskog mjernog ispitnog područja.

9. Ispitna mjerna površina

Ispitna mjerna površina, u dinamičkom ispitivanju, odnosi se na zadanu duljinu posipanja pomnoženu s teorijskom širinom posipanja. To je efektivna površina na kojoj se sakuplja ispitni posipni materijal.

10. Ukupna površina sakupljanja

Ukupna površina sakupljanja je zbroj ispitne mjerne površine i dvije vanjske trake.

11. Posipna doza

Ukupna masa ispitnog posipnog materijala je u g/m^2 .

12. Ukupna masa NaCl

Ukupna masa NaCl je ukupna masa NaCl sakupljena na ukupnoj površini sakupljanja.

13. Efektivna doza

Efektivna doza je postotak od ukupne količine NaCl koji se nalazi na ispitnoj mjernoj površini.

14. Teoretska doza

Teoretska doza je vrijednost koja je postavljena na upravljačkoj jedinici izražena u g/m^2 .

15. Teoretska ukupna masa

Teoretska ukupna masa je teoretska doza pomnožena s ispitnom mjernom površinom.

16. Efektivna doza po traci

Efektivna doza po traci je ukupna masa sakupljenog ispitnog posipnog materijal u toj traci podijeljena s površinom trake.

17. Efektivna prosječna doza po traci

Efektivna prosječna doza po traci je prosjek dva nezavisna mjerenja efektivne doze po traci.

3.2. Podjela posipača

S obzirom na ispitno posipno sredstvo, posipače možemo podijeliti na:

- 1) Posipači sa suhim posipanjem – sol + šljunak
- 2) Posipači s mokrim posipanjem – sol + šljunak + otopina (NaCl ili KCl)
- 3) Posipači s vodenim sredstvom – otopina (NaCl ili KCl)

U ovom radu će biti obrađena samo prva grupa, odnosno posipači sa suhim posipanjem.

U skladu s tehničkim postavkama EUniteda vezanih uz testiranje posipanja, postoje tri tipa posipača, podijeljenih prema širini posipanja, količini posipanog materijala i brzini vozila za posipače sa suhim posipanjem.

Tablica 1. Klasifikacija posipača

Tip	Širina posipanja m	Količina posipanja g/m ²	Brzina vozila km/h	Maksimalna količina kg/min
A	1 – 6	5 – 30	5 – 40	120
B	3 – 8	5 – 30	5 – 60	240
C	3 – 12	5 – 30	5 – 80	300

3.3. Ispitni posipni materijal

Kako bi se osigurala ponovljivost rezultata, također je potrebno definirati i karakteristike ispitnog posipnog materijala.

Tablica 2. Karakteristike ispitnog posipnog materijala – morska sol

Materijal	Morska sol
Postotak natrijevog klorida (NaCl), %	≥98,5
Vlažnost, %	<0,3
Dodatak protiv stvrdnjavanja	70 – 100 mg/kg

Tablica 3. Veličina čestica ispitnog posipnog materijala – morska sol

Veličina čestica, mm	Postotak u ukupnoj težini, %
>5	0 – 1
3,15 – 5,00	10 – 20
1,6 – 3,15	30 – 50
0,8 – 1,6	20 – 40
0,16 – 0,8	4 – 18
<0,16	2 – 6

Prilikom ispitivanja potrebno je priložiti certifikat proizvođača ispitnog posipnog materijala kojim se garantira da je ispitni materijal propisanih karakteristika. Materijal je potrebno skladištiti tako da je onemogućen utjecaj atmosferske vlage na kvalitetu ispitnog posipnog sredstva.

3.4. Procedura za dobivanje certifikata

Procedura za kvalifikaciju posipača za dobivanje certifikata sastoji se od dva tipa ispitivanja – statičkog i dinamičkog.

U statičkom ispitivanju provjerava se točna količina dovedenog posipnog materijala i provodi se bez pomicanja posipača. U dinamičkom ispitivanju provjerava se kvaliteta posipanog profila i provodi se pomicanjem posipača (vozila) s uključenim sustavom za posipanje preko mjerne ispitne površine. Ovisno o tipu posipača, propisani su parametri rada posipača koji su različiti za statičko i dinamičko ispitivanje.

Posipač prvo mora zadovoljiti uvjete prema statičkom ispitivanju nakon kojeg se može pristupiti dinamičkom ispitivanju. Kako bi se posipač kvalificirao za dobivanje certifikata, mora zadovoljiti zahtjeve oba ispitivanja. Tijekom postupka kvalificiranja dopušteno je samo promijeniti postavke posipne širine, doze, simetrije i simulirane brzine. Ukoliko se mijenja bilo koji drugi parametar, cijelu proceduru je potrebno ponoviti ispočetka.

3.4.1. Predispitivanje

Dopušteno je izvršiti predispitivanja s ciljem odabira i testiranja različitih postavki posipanja. Ova ispitivanja se ne uzimaju u obzir prilikom kvalifikacijskog ispitivanja. Proizvođač posipača mora jasno naglasiti kada prestaje s predispitivanjima i kada počinje službeno ispitivanje za dobivanje certifikata jer se samo testovi provedeni nakon objave vrednuju.

3.4.2. Statičko ispitivanje

Statičko ispitivanje se sastoji od vaganja ispitnog posipnog sredstva koje je dobavljeno preko sustava za dobavu. Provodi se bez kretanja posipača zbog čega je potrebno simulirati brzinu kretanja vozila preko upravljačke jedinice (EN-15597-1).

U slučaju kada je posipač pogonjen preko pomoćnog pogona, preporuke proizvođača moraju biti uzete u obzir.

U slučaju kada je posipač pogonjen preko hidraulike vozila, primjenjuje se norma EN 15431.

U slučaju kada je posipač pogonjen preko pumpe koja je montirana na kotač vozila, mora se osigurati nezavisan sustav koji će osigurati pogon pumpe i željenu brzinu rotacije potrebne za provođenje ispitivanja.

U slučaju kada je posipač pogonjen preko pumpe koja je spojena preko prirubnice na kotač vozila, mora se osigurati nezavisan sustav koji će osigurati pogon pumpe i željenu brzinu rotacije potrebne za provođenje ispitivanja, ostvarujući pritom teorijski promjer pneumatika vozila od 1 m. U [Tablica 2] dani su tehnički parametri statičkog ispitivanja. Statičko ispitivanje sastoji se od tri zasebna testa s međusobno različitim parametrima ispitivanja (širina posipanja, količina posipanja, brzina vozila i maksimalna količina posipanja). Obraden je samo tip A posipača, odnosno onaj za koji će se vršiti DEM analiza.

Tablica 4. Parametri statičkog ispitivanja

Broj testa	Širina posipanja m	Količina posipanja g/m ²	Brzina vozila km/h	Maksimalna količina kg/min
1	3	15	20	15
2	6	10	20	20
3	3	20	40	40

Uvjeti ispitivanja:

Statičko ispitivanje vrši se u zatvorenom prostoru, s temperaturom okoline između 5°C i 30°C (temperatura mora biti zapisana u izvješću). Ispitivanje može započeti tek kad svi uvjeti hidrauličkog kruga, koje je proizvođač naznačio, budu zadovoljeni. Statičko ispitivanje se provodi s više od 1/3 napunjenim spremnikom ispitnog materijala od ukupne zapremine spremnika.

Zahtjevi ispitivanja:

Svi posipači ispitivani prema uvjetima statičkog ispitivanja moraju zadovoljiti sljedeće tolerancije: maksimalna razlika između izmjerene i teoretske dobave ispitnog posipnog materijala mora biti $\pm 6\%$.

Zahtjevi za kvalifikaciju:

Svako ispitivanje provodi se dva puta za redom, a ako jedan od dva rezultata ne zadovoljava zahtjeve ispitivanja moguće je provesti i treće ispitivanje. Ako treće ispitivanje ne zadovoljava zahtjeve, posipač nije kvalificiran. Rezultati oba pozitivna ispitivanja moraju biti zapisani u izvješću o ispitivanju.

3.4.3. Dinamičko ispitivanje

Dinamičko ispitivanje sastoji se od jednog testa s definiranim parametrima ispitivanja [Tablica 5] – količina posipanja, širina posipanja, stvarna brzina vozila, simulirana brzina vozila, teorijska maksimalna količina, asimetrija profila posipanja. Obrađen je samo tip A posipača, odnosno onaj za koji će se vršiti analiza pomoću metode diskretnih elemenata.

Tablica 5. Parametri dinamičkog ispitivanja

Tip	Količina posipanja g/m ²	Širina posipanja m	Stvarna brzina vozila km/h	Simulirana brzina vozila km/h	Teorijska maksimalna količina kg/min	Asimetrija profila posipanja	
						lijevo m	desno m
A	30	3	10	10	15	2	1

Uvjeti ispitivanja:

Dinamičko ispitivanje provodi se s više od 1/3 napunjenim spremnikom ispitnog materijala od ukupne zapremine spremnika.

Ispitivanje se vrši u zatvorenom prostoru s ispitnom mjernom površinom koja simulira asfaltnu podlogu ceste. Ispitna mjerna površina mora biti ravna s ukupnim nagibom koji je manji od 0,5% uzimajući u obzir cjelokupne dimenzije mjerne površine. Na mjernoj površini ne smije biti prepreka.

Duljina ispitne mjerne površine iznosi minimalno 17,5 m. Područje sakupljanja iznosi 2,5 m u duljinu, maksimalne širine posipanja plus 1 m sa svake strane. Ispred i iza prostora za sakupljanje potrebno je osigurati prilazni i odlazni prostor kroz koje vozilo prolazi konstantnom

brzinom kako bi se protok i profil posipanja ustalio. Također, potrebno je osigurati dovoljno prostora za ubrzanje i zaustavljanje vozila.

Izmjerena brzina kretanja vozila ne smije odstupati $\pm 15\%$ od stvarne potrebne brzine vozila [Tablica 5].

Ispitivanje se vrši kada je temperatura okoline između 5°C i 30°C (temperatura i vlažnost zraka moraju biti zapisani u izvješću).

Uvjeti na ispitnoj površini:

Područje sakupljanja zajedno s prilaznim i odlaznim prostorom mora biti očišćeno i navlaženo prije svakog ispitivanja. Čišćenje područja sakupljanja mora se provesti mlazom vode, dok se prilazni i odlazni prostor čisti dok se ne zadovolji uvjet vizualne očišćenosti.

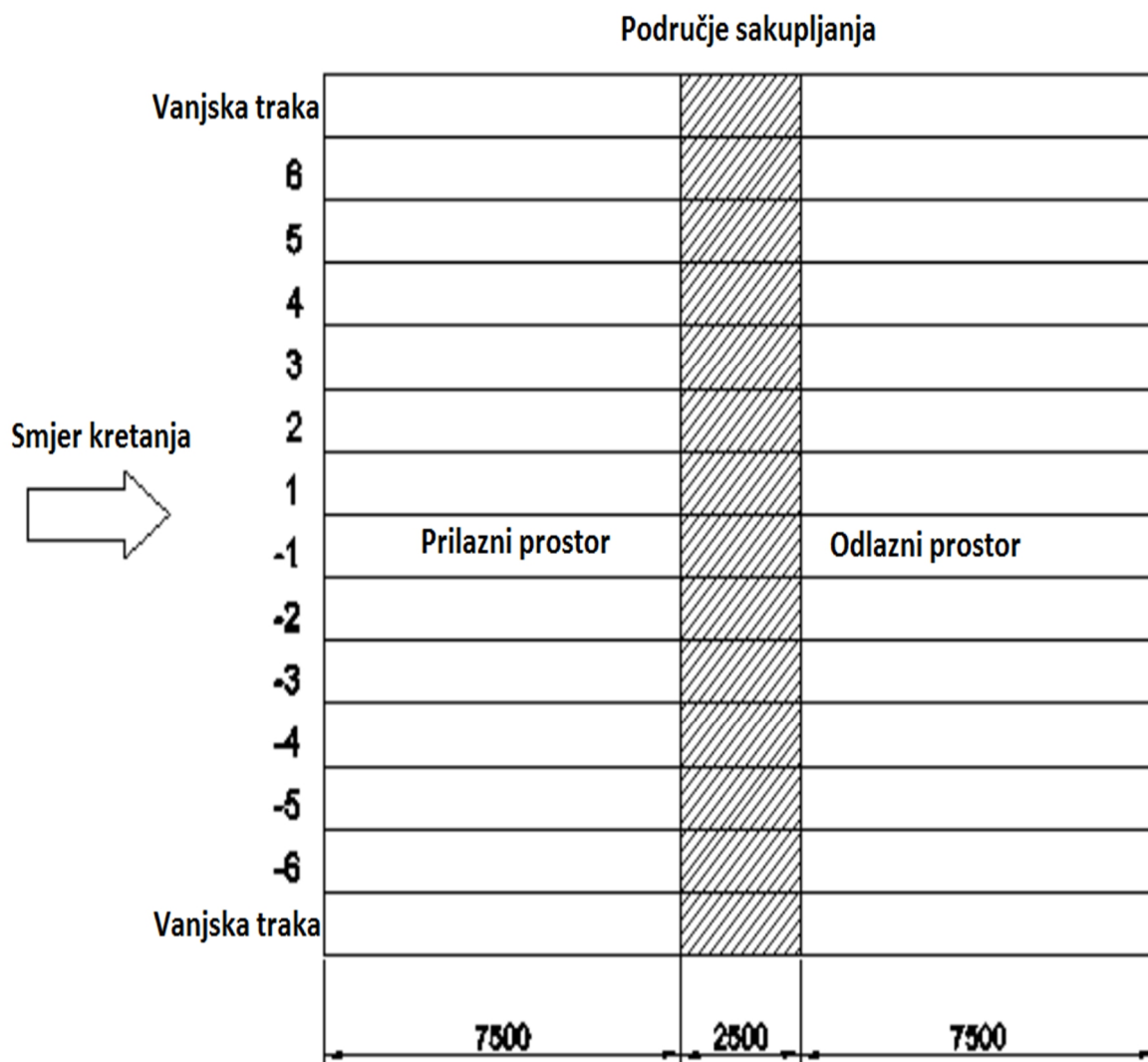
Detaljan opis ispitne metode:

Sustav koji mjeri količinu dobavljene soli mora moći prikupiti ne manje od 95% i ne više od 100% ukupnog posipanog ispitnog materijala. Potrebno je provesti provjeru sustava za svaku vrstu posipnog ispitnog materijala pomoću mjernog uzorka.

Zahtjevi ispitivanja:

Svi posipači ispitivani prema uvjetima dinamičkog ispitivanja moraju zadovoljiti sljedeće tolerancije:

- efektivna prosječna doza u vanjskim trakama zajedno mora biti $\leq 80\%$ efektivne doze kada su širine posipanja do 8 m,
- prva i zadnja traka unutar mjernog ispitnog područja moraju imati efektivnu prosječnu dozu $\geq 50\%$ od efektivne doze po traci,
- sve ostale trake unutar mjernog područja moraju imati efektivnu prosječnu dozu $\geq 60\%$ od efektivne doze po traci.



Slika 4. Ispitno mjerno područje za dinamičko ispitivanje

Zahtjevi za kvalifikaciju:

Matematički prosjek efektivne prosječne doze dva kvalifikacijska ispitivanja mora zadovoljiti zahtjeve kako bi se prošao test. Ako matematički prosjek dva kvalifikacijska ispitivanja ne zadovoljava zahtjeve, moguće je provesti i treće ispitivanje.

Ako su provedena tri ispitivanja, proizvođač posipača odlučuje koja dva ispitivanja se uzimaju u obzir za računanje prosjeka.

Efektivna stopa sakupljanja posipnog ispitnog materijala mora biti minimalno 75%, u protivnom se ispitivanje mora ponoviti. Ako je efektivna stopa sakupljanja minimalno 90%, kvalifikacijsko ispitivanje se smatra važećim. Ako je efektivna stopa sakupljanja veća od 75%, ali manja od 90%, proizvođač posipača odlučuje je li kvalifikacijsko ispitivanje važeće ili se mora ponoviti.

Tablica 6. Lista testiranih posipača na Sveučilištu Aarhus, Danska

Proizvođač	Model posipača	Širina posipanja		
		A (1 – 6 m)	B (3,5 – 8 m)	C (3 – 12 m)
<i>Epoke</i>	<i>Sirius AST</i>		X	X
<i>Epoke</i>	<i>Certus SE</i>		X	X
<i>Epoke</i>	<i>Virtus SE</i>			
<i>Giletta</i>	<i>UH</i>		X	X
<i>Giletta</i>	<i>KA_/C</i>	X	X	
<i>Giletta</i>	<i>OH</i>		X	X
<i>Giletta</i>	<i>CL</i>			
<i>Gmenier</i>	<i>YETI_W</i>		X	
<i>Gmenier</i>	<i>ICEBEAR K_FS</i>		X	X
<i>Gmenier</i>	<i>ICEBEAR C</i>			
<i>Küpper-Weisser</i>	<i>IMS E, FA/IMS F FA/IMS A, FA</i>			X
<i>Küpper-Weisser</i>	<i>IMS E, FU/IMS B FU/IMS S, FU</i>			
<i>Schmidt</i>	<i>Stratos</i>		X	X
<i>Schmidt</i>	<i>Straliq</i>			
<i>RASCO</i>	<i>SOLID X</i>		X	X
<i>RASCO</i>	<i>SOLID T</i>		X	X
<i>RASCO</i>	<i>LIQUID</i>			

Na dan 26.8.2014. samo posipač *Giletta KA_/C* imao je certifikat za tip A posipača [Tablica 6].

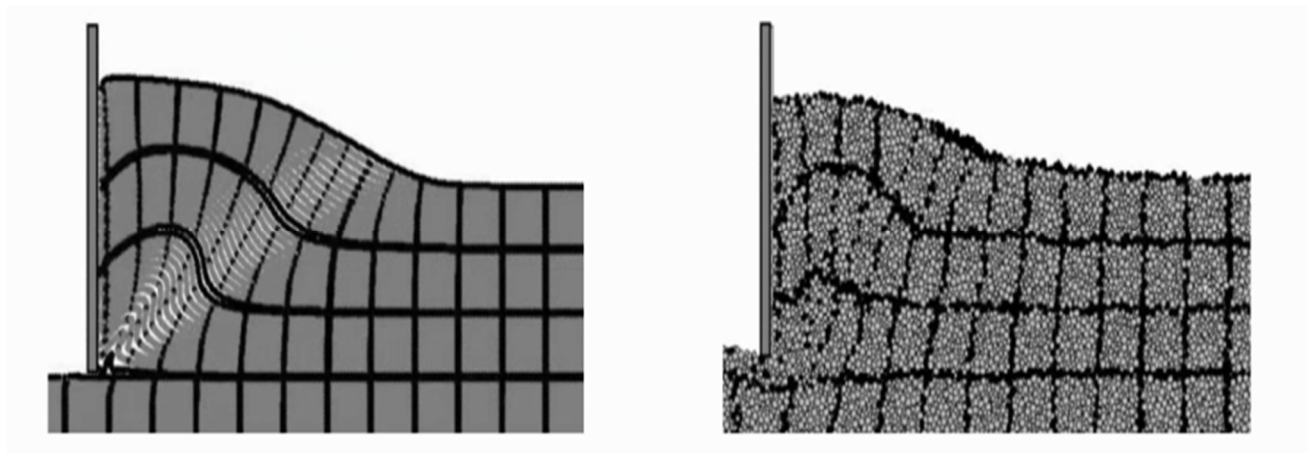
4. EDEM SOFTVERSKI PAKET

4.1. Općenito o EDEM softverskom paketu

EDEM je softverski paket koji služi za virtualno ispitivanje i analizu kretanja rasutog i granularnog materijala poput rude, zemlje, žitarica, praha itd. Tvrtka *DEM Solutions*, vlasnica *EDEM* paketa, osnovana je 2003. godine u Edinburgu u Ujedinjenom Kraljevstvu dok se sam softver na tržištu pojavio 2006. godine te je od tada postao jedan od najzastupljenijih *DEM* (*Discrete Element method*) paketa na tržištu. Razvojem računala, odnosno sve bržih procesora, ovakva virtualna ispitivanja dobivaju na značaju jer tako tvrtkama štede vrijeme i novac prilikom razvoja i optimiranja konstrukcija, stoga ne čudi činjenica da je *EDEM* zastupljen u svim granama industrije (farmaceutska, procesna, poljoprivredna itd.). [5]

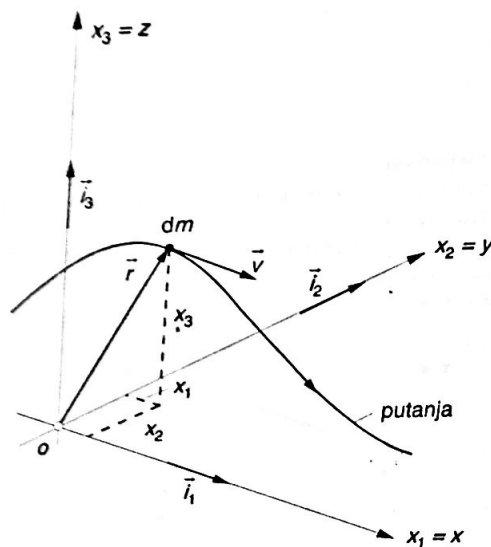
4.2. Metoda diskretnih elemenata (*DEM - Discrete Element method*)

Kako bi se moglo razumjeti jesu li ispravno postavljeni parametri simulacije potrebno je poznavati metodu pomoću koje program rješava zadani problem. *EDEM* se koristi metodom diskretnih elemenata koja se uobičajeno primjenjuje za rješavanje problema granularnog materijala. Općenito problem strujanja, odnosno kretanja fluida ili čestica, moguće je rješavati pomoću dva pristupa – Lagrangeovog i Eulerovog. Kod Eulerovog pristupa promatraju se polja zajedničkih vrijednosti pojedinih fizikalnih veličina (brzina, ubrzanje, tlak, temperatura...) te se ne promatra svaka čestica zasebno. Kod homogenih fluida vrijednosti fizikalnih veličina pojedine čestice najčešće nisu niti bitne pa se zbog toga i primjenjuje ovakav pristup. Za razliku od Eulerovog pristupa, u Lagrangeovom pristupu promatra se svaka česticu zasebno skupa s njezinim vrijednostima pojedinih fizikalnih veličina. Odmah se može primijetiti da je Eulerov pristup jednostavniji za matematičke analize, ali ne daje podatke o pojedinim česticama što je u ovom slučaju područje koje se želi istraživati. Preteča metode diskretnih elemenata je molekularna metoda koju su razvili 1956. godine Albert i Wainwright, dok je sama metoda diskretnih elemenata razvijena 1979. godine od strane Cundalla i Stocka.



Slika 5. Primjer kontinuiranog (Eulerovog) i diskretnog (Lagrangeovog) modela rezne oštrice i materijala koji se reže

4.2.1. Lagrangeov i Eulerov zapis gibanja čestice



Slika 6. Opis gibanja čestice dm u pravokutnom koordinatnom sustavu

Prema [6] i [7], gibanje čestice mase dm može se opisati pomoću vektora položaja \vec{r} , tj.:

$$\vec{r} = \vec{r}(t) = x_1(t)\vec{i}_1 + x_2(t)\vec{i}_2 + x_3(t)\vec{i}_3. \quad (1)$$

U indeksnom zapisu izraz (1) glasi:

$$x_i = x_i(t). \quad (2)$$

Brzina \vec{v} , odnosno ubrzanje \vec{a} dani su izrazima:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}. \quad (3)$$

U indeksnom zapisu izraz brzina \vec{v} , odnosno ubrzanje \vec{a} glase:

$$v_i = \frac{dx_i}{dt}, \quad a_i = \frac{dv_i}{dt} = \frac{d^2x_i}{dt^2}. \quad (4)$$

Kao što je ranije spomenuto, kontinuum se sastoji od velikog broja čestica pa bi za opisivanje bilo potrebno koristiti vrlo velik broj jednačbi oblika (2), te je potreban neki način kako bi se svaku česticu označilo. To se rješava uvođenjem materijalnih koordinata gdje se svaka čestica označava trima prostornim koordinatama one točke koju je čestica zauzimala u nekom trenutku u vremenu. Te prostorne koordinate tada postaju materijalne koordinate i označavaju se s y_1 , y_2 i y_3 za razliku od onih prostornih koje se označavaju s x_1 , x_2 i x_3 . Prema tome vrijedi sljedeći zapis:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1(t_0), \\ y_2 &= x_2(t_0), \\ y_3 &= x_3(t_0); \end{aligned} \quad (5)$$

ili u indeksnom zapisu:

$$y_i = x_i(t_0). \quad (6)$$

Na temelju toga gibanje kontinuumu može se opisati pomoću izraza:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1(y_1, y_2, y_3, t), \\ x_2 &= x_2(y_1, y_2, y_3, t), \\ x_3 &= x_3(y_1, y_2, y_3, t); \end{aligned} \quad (7)$$

ili u indeksnom zapisu:

$$x_i = x_i(y_1, y_2, y_3, t). \quad (8)$$

Ako se vrijeme t drži stalnim, izraz (7) daje raspored svih čestica u trenutku t . Ako se fiksiraju koordinate y_1, y_2 i y_3 , izraz (7) opisuje gibanje jedne čestice koja je određena materijalnim koordinatama y_1, y_2 i y_3 .

Materijalni i prostorni opis gibanja

Kada se kontinuum giba, tenzorske veličine kao što su brzina v_i , temperatura ϑ_i itd. mijenjaju se u tijeku vremena. Promjene se mogu opisati na dva načina:

- 1) Opisujući promjene kako ih vidi promatrač koji je vezan za česticu, a budući da je čestica vezana koordinatama y_1, y_2 i y_3 , promatrana veličina (brzina) zadana je izrazom:

$$v_i = v_i(y_1, y_2, y_3, t). \quad (9)$$

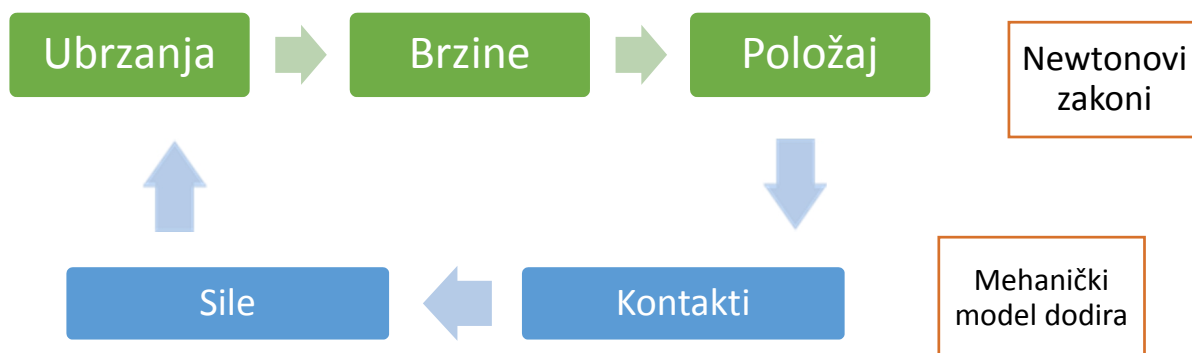
- 2) Opisujući promjene fizikalnih veličina u pojedinim točkama prostora, određenim prostornim koordinatama x_1, x_2 i x_3 kako ih vidi nepomični promatrač vezan za Ox_1, x_2, x_3 , dobije se izraz:

$$\vartheta = \vartheta(x_1, x_2, x_3, t). \quad (10)$$

Prvi se opis naziva materijalni ili Lagrangeov pristup, a drugi prostorni ili Eulerov pristup. Kao što je i spomenuto, u mehanici fluida koristi se Eulerov pristup, dok je u mehanici čvrstih deformabilnih tijela pogodniji Lagrangeov pristup.

4.3. Algoritam izračunavanja vrijednosti fizikalnih veličina u EDEM-u

Kako je ranije spomenuto, u metodi diskretnih elemenata prati se kretanje svake pojedine čestice. Kako bi kretanje čestica bilo u potpunosti definirano, potrebno je poznavati ubrzanje koje djeluje na česticu, njezinu početnu brzinu i početni položaj. Ukoliko dođe do kontakta između čestica, primjenjuje se odabrani kontaktni model odnosno odgovarajući mehanički model dodira. Na temelju modela izračunavaju se sile iz kojih se pomoću Newtonovih zakona dobiva ubrzanje te se pomoću numeričke integracije izračunava brzina i položaj čestice.



Čestica ima 6 stupnjeva slobode gibanja, 3 rotacije i 3 translacije.

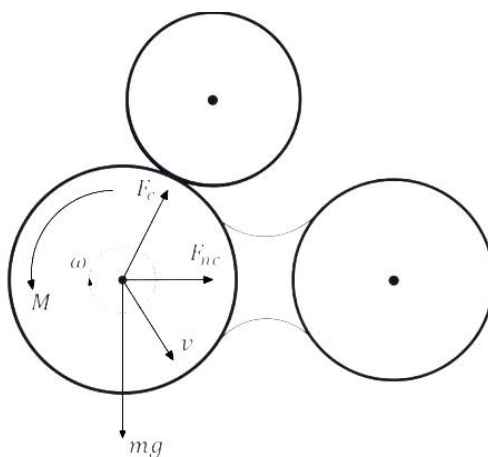
Rotacija:

$$I \cdot \frac{d\omega}{dt} = M \quad (11)$$

Translacija:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = F_g + F_c + F_{nc}, \quad (12)$$

Gdje je: I – moment inercije, ω – kutna brzina, t – vrijeme, M – moment, m – masa, v – brzina, F_g – sila gravitacije, F_c – kontaktna sila, F_{nc} – n-ta kontaktna sila.



Slika 7. Sile i momenti koji djeluju na česticu

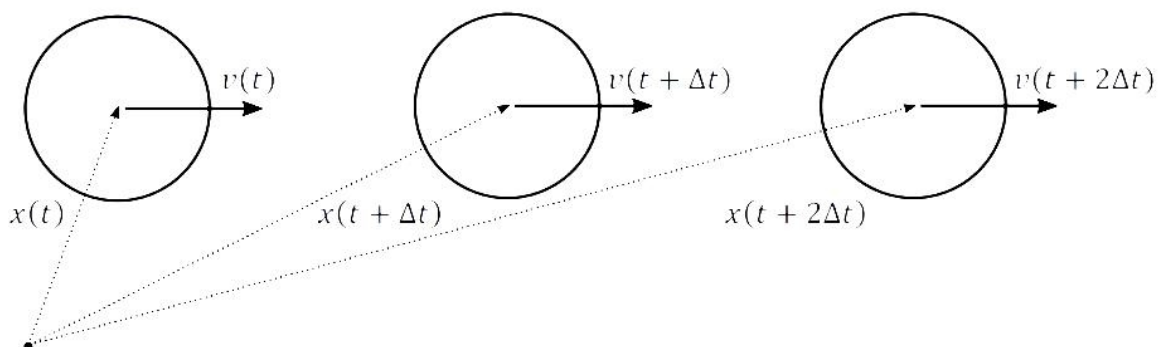
Numerička integracija gdje se za svaki korak određuje trenutna brzina i položaj čestice.

Jednadžba položaja čestice:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t)\Delta t \quad (13)$$

Jednadžba brzine čestice:

$$v(t + \Delta t) = v(t) + a(t)\Delta t \quad (14)$$

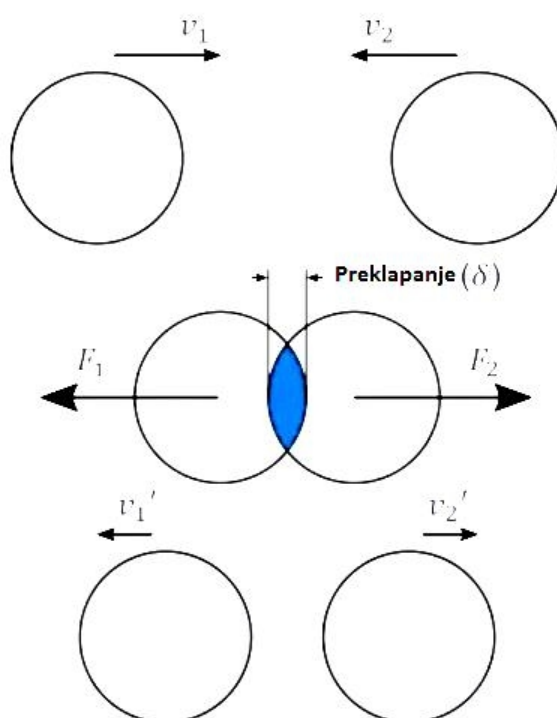


Slika 8. Numerička integracija po koraku

Kako bi se ispravno definiralo međudjelovanje između čestica, potrebno je poznavati o kojem mehaničkom modelu dodira je riječ i koja metoda diskretnih simulacija se koristi. Općenito imamo:

- 1) tvrde sfere – sfere su idealno krute te je odjednom moguć samo jedan kontakt,
- 2) meke sfere – sfere kod kojih se dopušta mala deformacija i preklapanje sfera što omogućuje više dodira odjednom.

U *EDEM*-u se koristi isključivo metoda mekih sfera zato jer ona dobro opisuje stvarne materijale i njihova svojstva. [5]

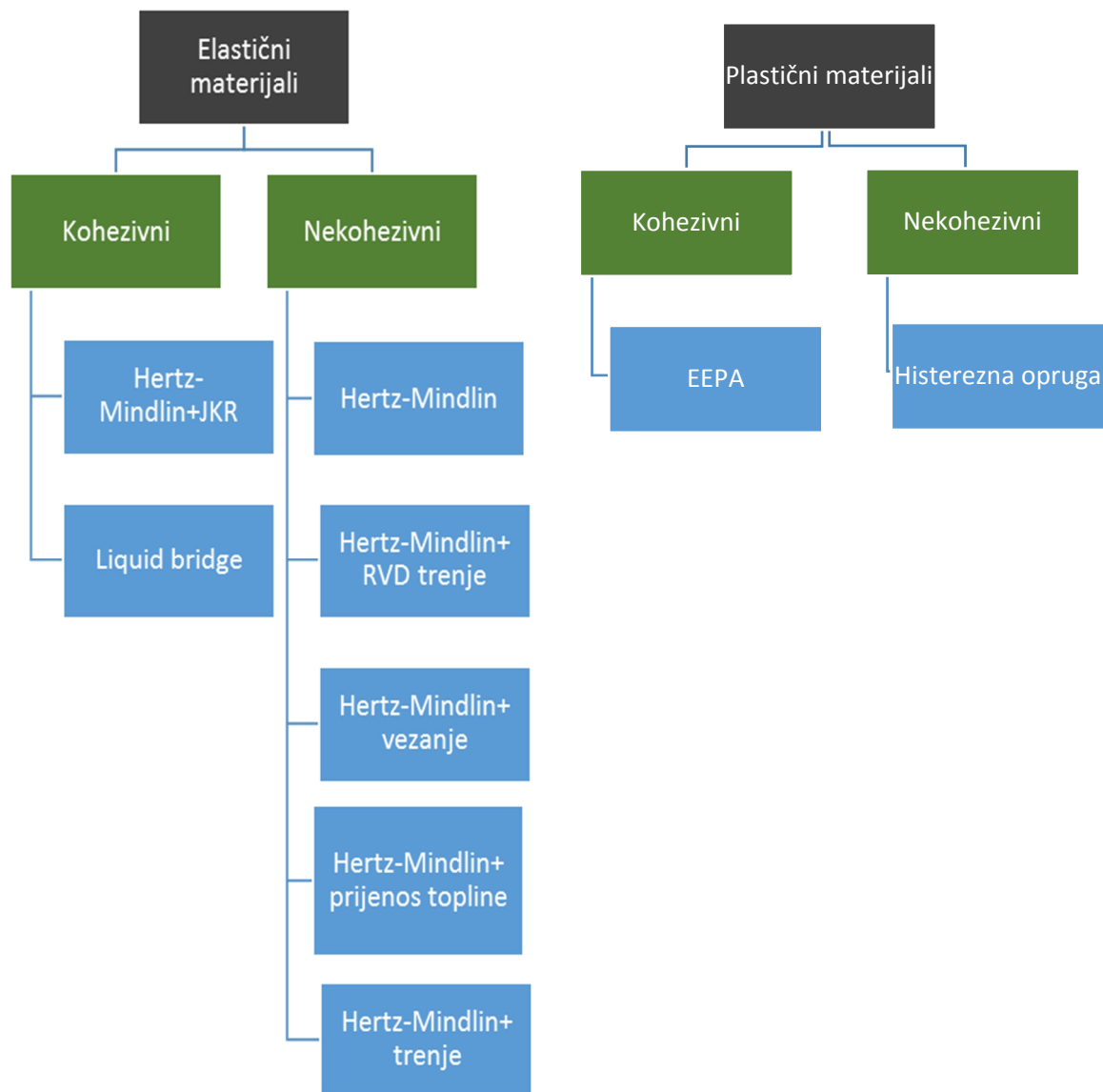


Slika 9. Princip mekih sfera

Kod postavljanja simulacije potrebno je postaviti dovoljno mali vremenski korak kako preklapanje ne bi bilo preveliko, što bi posljedično uzrokovalo velike reaktivne sile odnosno nerealna ubrzanja i brzine nakon međusobnog dodira dviju sfera.

4.4. Mehanički modeli dodira

U *EDEM*-u postoji više mehaničkih modela dodira, a moguće je i stvoriti vlastiti. Zbog toga je moguće simulirati različite materijale (elastične i plastične) s različitim svojstvima (kohezivni i nekohezivni). Osnovni i najčešće upotrebljavani model je *Hertz-Mindlin*. [5]



4.4.1. Hertz-Mindlinov model dodira dvaju sfera

Hertz-Mindlinov model je osnovni kontaktni model u *EDEM*-u zbog svojeg točnog i efikasnog načina izračunavanja sila. Proračun normalne komponente sile (F_n) temelji se na Hertzovoj kontaktnoj teoriji (1882.), a tangencijalne sile (F_t) na radu *Mindlin-Deresiewicz* (1953). U obje

teorije postoji koeficijent prigušenja (c) koji je povezan s koeficijentom restitucije (e) u radu *Tsuji, Tanaka i Ishida* (1992.).

Koeficijent restitucije (mjera za elastičnost sudara) određuje se eksperimentalno, a ovisi o brzini tijela koja se sudaraju, njihovom obliku i veličini te materijala od kojeg su napravljena. Koeficijent restitucije definira se omjerom razlike brzina poslije i prije sudara, a formula za njegovo izračunavanje glasi:

$$e = \frac{|\vec{v}'_i - \vec{v}'_j|}{|\vec{v}_i - \vec{v}_j|} \quad (15)$$

gdje su \vec{v}'_i i \vec{v}'_j brzine tijela nakon sudara, a \vec{v}_i i \vec{v}_j brzine tijela prije sudara.

Vrijednosti koeficijenta restitucije kreću se između 0 i 1. Slučaj kada je koeficijent restitucije jednak 0 ($e = 0$) naziva se plastični sudar i tijela se nakon sudara nastavljaju gibati zajedno jednakom brzinom. Primjer takvog sudara je sudar tijela od ilovače, plastelina te sudar metalne kugle i pješčane podloge. Slučaj kada je koeficijent restitucije jednak 1 ($e = 1$) naziva se potpuno elastični sudar i u praksi ga je nemoguće postići. Staklo ima najveći koeficijent restitucije i on se kreće u rasponu od 0,93 do 0,96.

Normalna sila (F_n) je funkcija normalnog preklapanja (δ_n) i izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$F_n = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \delta_n^{\frac{3}{2}} \quad (16)$$

gdje je: E^* – ekvivalentni Youngov modul, a R^* – ekvivalentni radijus.

E^* i R^* se izračunavaju pomoću izraza:

$$\frac{1}{E^*} = \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} + \frac{(1-\nu_j^2)}{E_j} \quad (17)$$

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j} \quad (18)$$

gdje su: E^i i E^j – Youngovi moduli sfera u dodiru, ν_i i ν_j – Poissonovi koeficijenti sfera u dodiru, R_i i R_j – radijusi sfera u dodiru.

Sila prigušenja normalne sile (F_n^d) izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$F_n^d = -2\sqrt{\frac{5}{6}}\beta\sqrt{S_n m^* v_n^{rel}} \quad (19)$$

$$m^* = \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_i} \right)^{-1} \quad (20)$$

$$\beta = \frac{\ln e}{\sqrt{\ln^2 e + \pi^2}} \quad (21)$$

$$S_n = 2E^* \sqrt{R^* \delta_n} \quad (22)$$

gdje je: m^* – ekvivalentna masa, v_n^{rel} – normalna komponenta relativne brzine, S_n – normalna krutost, e – koeficijent restitucije.

Tangencijalna sila (F_t) je funkcija tangencijalnog preklapanja (δ_t) i izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

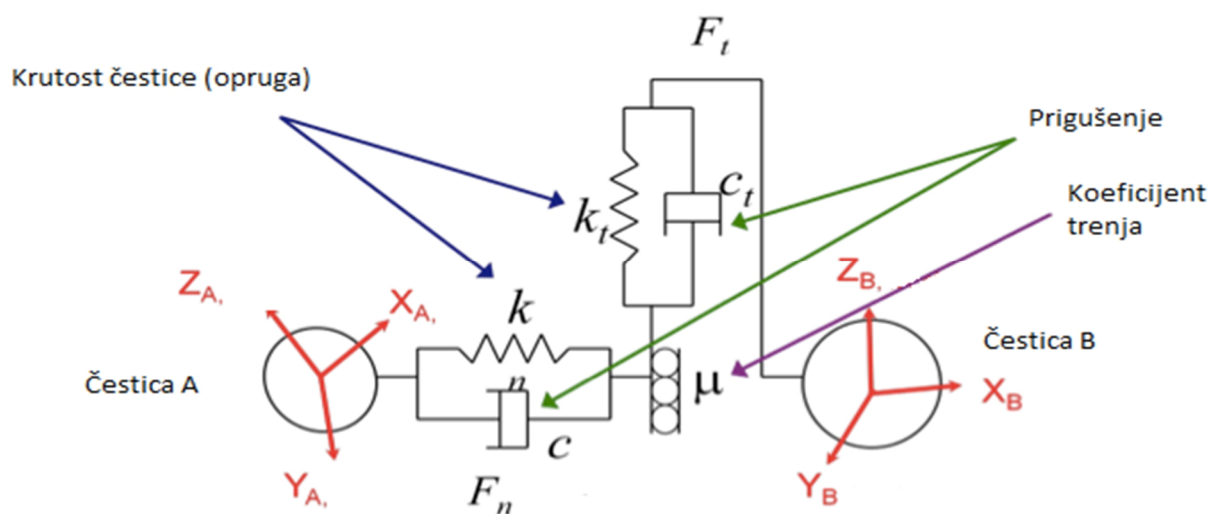
$$F_t = -S_t \delta_t \quad (23)$$

$$S_t = 8G^* \sqrt{R^* \delta_t} \quad (24)$$

Sila prigušenja tangencijalne sile (F_t^d) izračunava se pomoću sljedećeg izraza:

$$F_t^d = -2\sqrt{\frac{5}{6}}\beta\sqrt{S_t m^* v_t^{rel}} \quad (25)$$

gdje je: v_t^{rel} – tangencijalna komponenta relativne brzine, S_t – tangencijalna krutost, G^* – ekvivalentni modul smicanja. [5]

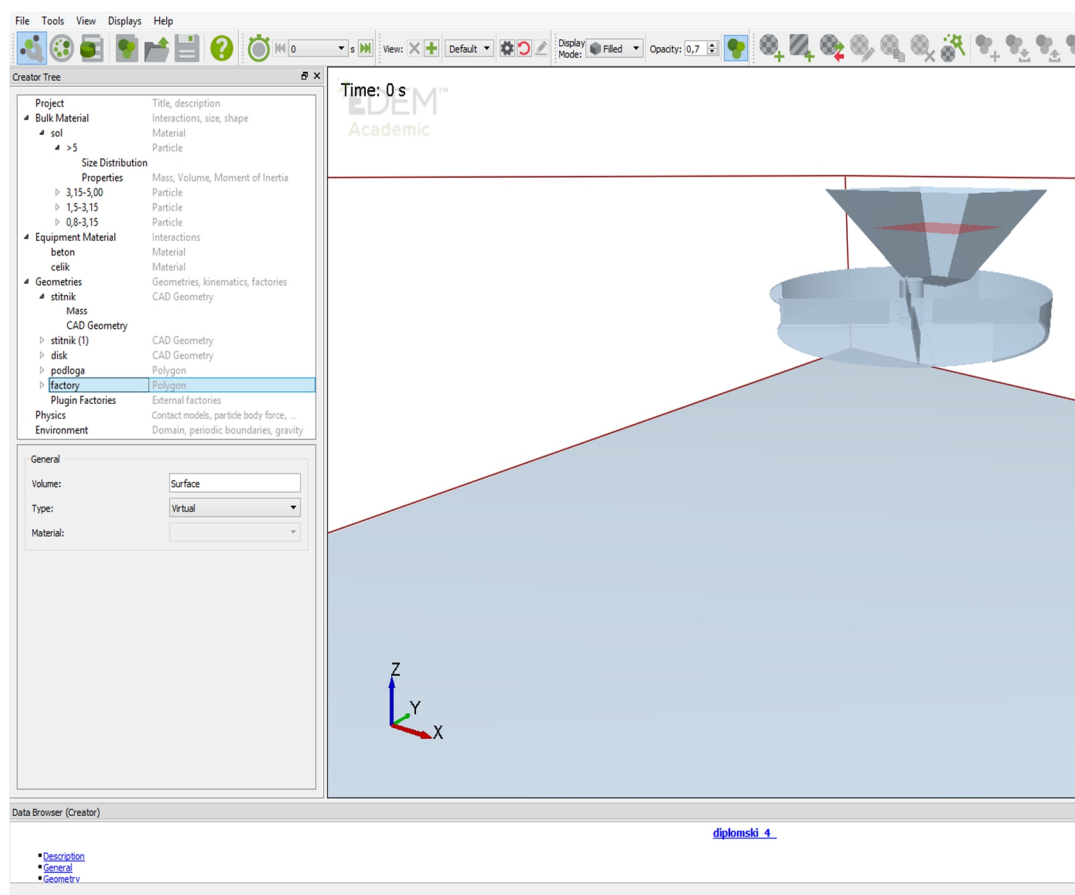


Slika 10. Hertz-Mindlinov model dodira dviju sfera

4.5. Sučelje *EDEM* softverskog paketa

EDEM se sastoji od 3 glavne komponente (sučelja), a to su: *EDEM Creator*, *EDEM Simulator* i *EDEM Analyst*.

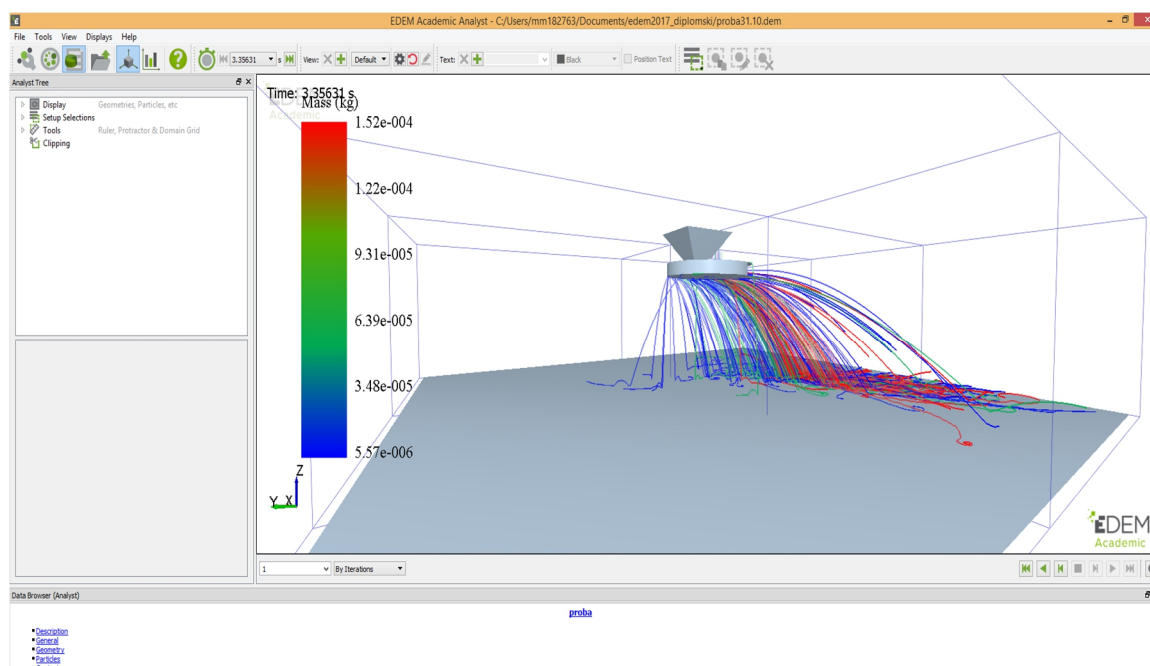
EDEM Creator služi za pripremu same simulacije. U njemu se određuje koji materijali i s kojim svojstvima će se koristiti te njihova međusobna interakcija, odabire se kontaktni model, modelira se ili prenosi (funkcija - *import*) geometrija iz nekog od *CAD* paketa, definira domena te se stvaraju čestice koje mogu biti različitih veličina i oblika. Za modeliranje čestica najčešće se koristi više sferna metoda gdje se sfere međusobno preklapaju, ali isto tako čestice se mogu modelirati u *CAD* paketu. Korištenjem više sferne metode smanjuje se vrijeme potrebno za izračunavanje od korištenja čestica s grubim bridovima i šiljastim vrhovima, dok se rezultati međusobno ne razlikuju mnogo. Za svaki dio geometrije odnosno sklopa moguće je definirati kretanje, tj. rotaciju i linearno kretanje koje može biti jednoliko ili vremenski promjenjivo, što je u skladu sa 6 stupnjeva slobode koje imaju i čestice.



Slika 11. *EDEM Creator* sučelje

EDEM Simulator služi za procesuiranje unesenih podataka zadanih u *EDEM Creator*-u. U njemu određujemo vrstu vremenske integracije i odabiremo korak simulacije. Odabir odgovarajućih parametara je izrazito bitan zbog samog numeričkog integriranja koje je podložno javljanju nerealnih rješenja, tj. vrijednosti. Također, vremenski korak mora biti dovoljno malen kako ne bi došlo do prevelikog preklapanja sfera koje zatim uzrokuje nerealno velike dodirne sile koje posljedično uzrokuju velika ubrzanja i brzine čestica. Preporučena vrijednost je 20 %. Određuje se vrijeme trajanja simulacije kao i interval spremanja podataka, a kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za procesuiranje moguće je odabrati koje vrijednosti se izračunavaju i spremaju. Još jedna važna postavka je podjela domene, a to se radi pomoću odabira veličine ćelije. Preporučena postavka je s veličinom ćelije od 2-3 R (radijusa) najmanje čestice prisutne u simulaciji. Mogući problem koji se javlja jest nedostatak radne memorije računala (RAM) pa se nerijetko veličina ćelije mora povećavati, što pak uzrokuje dulje vrijeme potrebno za provedbu simulacije.

EDEM Analyst služi za analizu dobivenih rezultata. Veliki broj funkcija omogućuje kvalitetno proučavanje dobivenih podataka. Moguće je odabrati i sortirati čestice prema veličini, brzini, kinetičkoj i potencijalnoj energiji ili drugim zadanim svojstvima. *EDEM* omogućava nekoliko različitih vizualizacija kretanja čestica od vektora, strujnica do stvarno korištenih čestica. Još jedna važna funkcija jest da je domenu moguće podijeliti u grupe i pratiti međusobne razlike u ponašanju čestica po pojedinim grupama.



Slika 12. *EDEM Analyst* sučelje

4.6. Primjena EDEM softverskog paketa

EDEM se koristi u velikom broju različitih industrija koje imaju veze s granularnim materijalom. Primjenom *EDEM*-a smanjuje se broj potrebnih fizičkih eksperimenata za pronalazak optimalnih parametara eksploatacije čime se štedi vrijeme i novac tvrtki.



EDEM se u strojarstvu koristi za optimiziranje konstrukcija, modeliranje prijenosa materijala pomoću pužnog ili remenskog konvejera, simulaciju miješanja granularnog materijala, analize dinamike čestica u drobilici itd.

U građevinarstvu se koristi za modeliranje različitih tipova betona, asfalta, prahova itd.

Poljoprivreda je izrazito zanimljivo područje koje pokriva *EDEM* zbog toga što se može pratiti ponašanje znatog materijala, tj. žita u sustavima za transport, sijanje i preradu. Moguće je modeliranje materijala međusobno povezanih vlaknima te analiza distribucije granularnog materijala (umjetnog gnojiva) pomoću posipača.

U procesnoj industriji koristi se modeliranje prevlačenja slojeva praha preko čestica, miješanje različitih tipova prahova, fluidizaciju čestica itd.



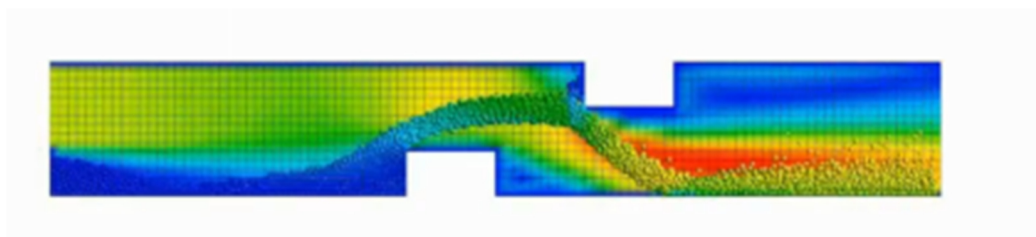
Slika 13. Primjena *EDEM*-a u poljoprivredi

4.7. Međusobno spajanje *EDEM* softverskog paketa s ostalim računalnim paketima

EDEM omogućuje međusobno spajanje s različitim tipovima softvera koji služe za rješavanje inženjerskih problema.

CFD (Computational Fluid Dynamics)

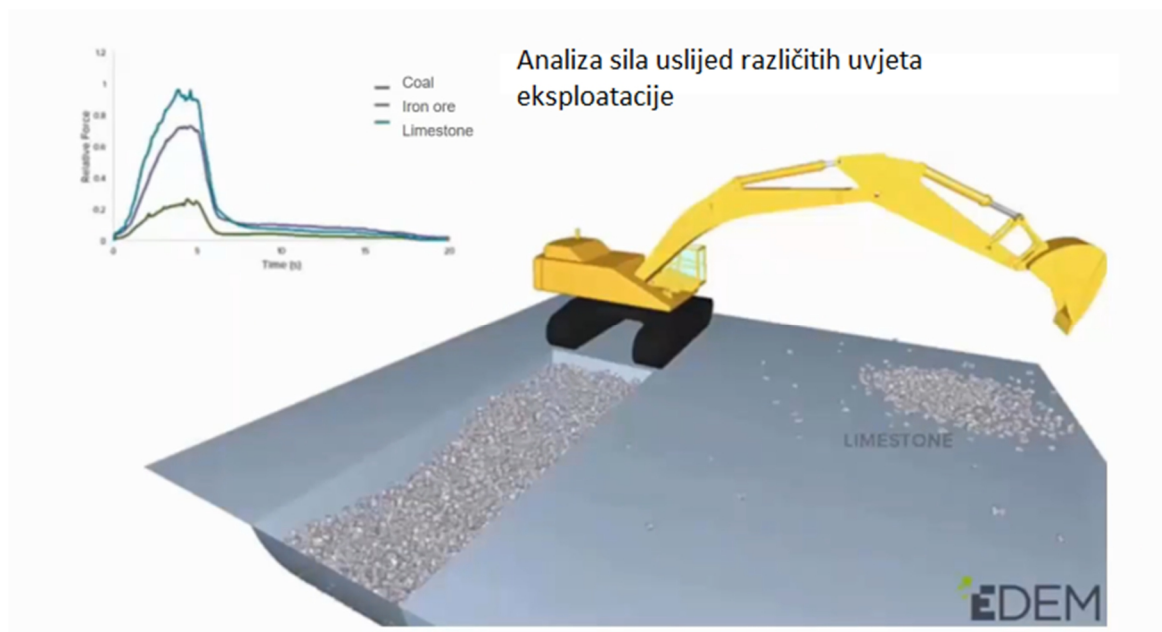
EDEM se može spojiti s *ANSYS Fluent*-om gdje *EDEM* rješava dinamiku krutih čestica, a *ANSYS Fluent* rješava dinamiku fluida te se pomoću zajedničkog sučelja rezultati pokazuju u jednom prozoru. U stvarnosti postoji jako velik broj miješanih sustava u kojima imamo fluid i krute čestice, a takva analiza omogućuje realniju simulaciju dinamike sustava.



Slika 14. Primjer integracije CFD *ANSYS Fluent*-a i *EDEM*-a

MBD (Multi Body Dynamics)

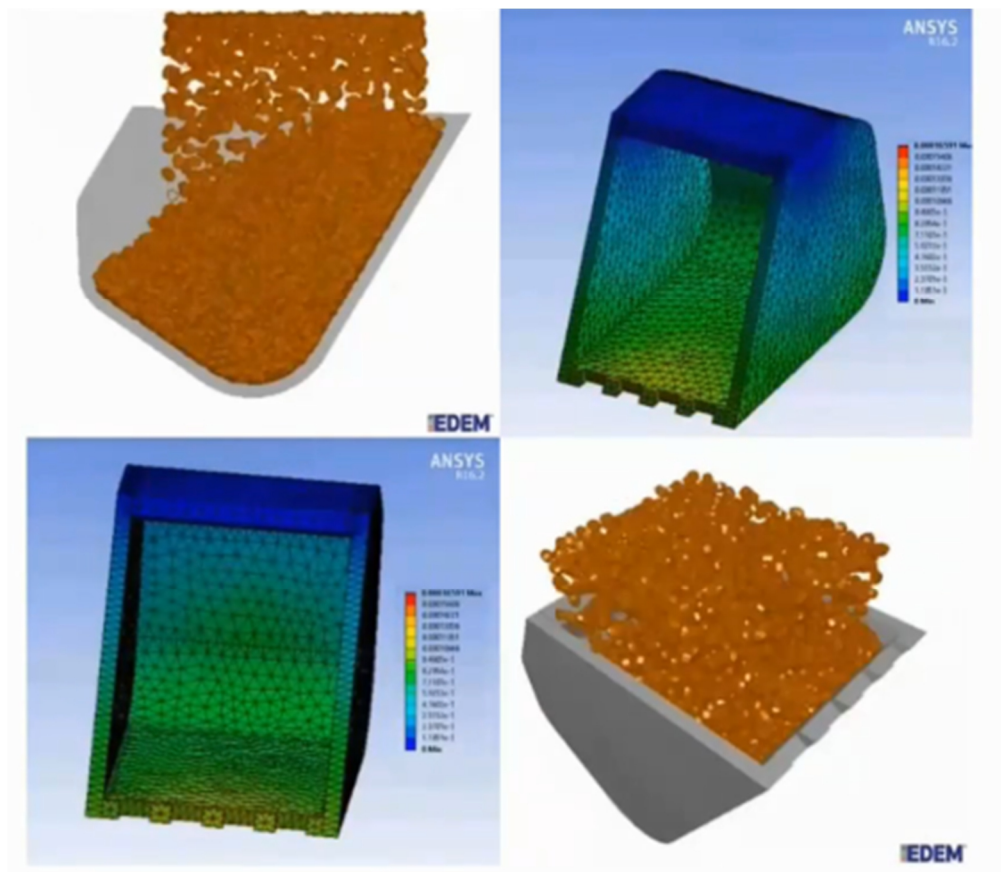
EDEM se može spojiti s *MBD Adams* softverom, gdje *EDEM* izračunava sile koje djeluju na opremu, a posljedica su djelovanja čestica granularnog materijala, dok *Adams* na temelju tih podataka može provesti složenu dinamiku utjecaja granularnog materijala na opremu.



Slika 15. Primjer integracije *MBD Adams* i *EDEM*-a

FEA- MKE (*Finite Element Analysis* - Metoda konačnih elemenata)

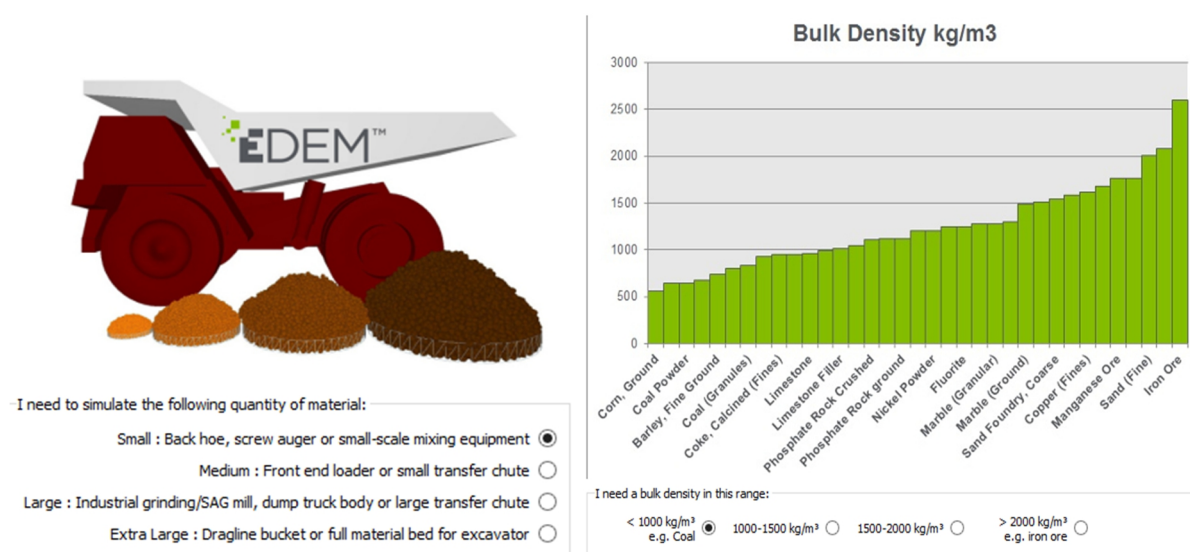
EDEM se može spojiti sa softverima koje koriste metodu konačnih elemenata kako bi točno odredili ukupni tlak, sile i naprezanje kojima je podvrgnuta ispitivana oprema. Kao primjer dano je spajanje *EDEM*-a s *ANSYS Workbenchom* gdje *EDEM* izračunava ukupnu silu uslijed djelovanja granularnog materijala, a na temelju toga *ANSYS Workbench* izračunava ukupnu deformaciju na temelju vremenski promjenjivog opterećenja.



Slika 16. Primjer integracije *ANSYS Workbench*a i *EDEM*-a

4.8. Baza materijala (*Generic EDEM Material Model - GEMM Wizard*)

U sklopu *EDEM Creator* sučelja postoji baza materijala s različitim svojstvima koja su potrebna za provedbu simulacije. Ova značajka omogućuje brzo kreiranje granularnog materijala kojeg želimo koristiti u simulaciji bez nepotrebnog ispunjavanja podataka kada se kreira novi materijal ispočetka. To dolazi do izražaja kada se koristi velik broj različitih materijala gdje se u četiri koraka definira novi materijal te kada nismo u potpunosti sigurni koja su nam svojstva granularnog materijala.



Slika 17. Prvi (lijevo) i drugi (desno) korak odabira materijala u bazi materijala

U prvom koraku odabire se količina materijala koja ovisi o vrsti simulacije koja se provodi. Ovaj korak je bitan zato jer se odabirom većih čestica skraćuje vrijeme potrebno za provedbu simulacije što može dati dovoljno dobre rezultate kad je u pitanju model velikih dimenzija poput košare rovokopača punog šljunka. U drugom koraku odabire se raspon u kojem se nalazi nasipna gustoća materijala koji želimo koristiti u simulaciji. Nasipnu gustoću materijala moguće je pronaći u raznim priručnicima ili na internetskim stranicama specijaliziranim za svojstva sipkog tereta.



Slika 18. Treći korak odabira materijala u bazi materijala

U trećem koraku upisuje se nasipni kut koji se također može pronaći u priručnicima. Kako bi ponašanje matematičkog modela odgovaralo stvarnom ponašanju materijala provode se kalibracije [Slika 18. Treći korak odabira materijala u bazi materijala] kojima se uspoređuje matematički i fizički model, što je izuzetno bitno kako bi matematički, tj. simulacijski model što vjernije oponašao stvarno ponašanje materijala.

JKR (J/m ²)	P to P Coefficient of Restitution	P to P Coefficient of Rolling Friction	P to P Coefficient of Static Friction	Angle of Repose (degrees)
0	0,75	0,15	0,32	40
7	0,15	0	0,2	40
3,5	0,35	0,1	0,8	40
7	0,55	0,05	0,32	40
7	0,55	0,05	0,92	40
0	0,15	0,1	0,8	40
10,5	0,55	0	0,2	40
10,5	0,55	0,05	0,32	40
3,5	0,15	0,1	0,92	40
14	0,75	0	0,2	40

Slika 19. Zadnji korak odabira materijala u bazi podataka

U zadnjem koraku ponuđena je tablica materijala koji zadovoljavaju zahtjeve definirane u ranijim koracima. U tablici se odabire materijal koji najbolje zadovoljava željene uvjete kohezivnosti, koeficijenta restitucije, statičkog trenja i trenja kotrljanja. Nakon odabira materijal se automatski pojavljuje u *EDEM Creator* sučelju.

5. DEFINIRANJE ULAZNIH PODATAKA SIMULACIJE

U *EDEM Creator* sučelju potrebno je definirati ulazne podatke simulacije. U ovom radu provedena je analiza samo za dinamičko ispitivanje. Prvo je potrebno definirati koji materijali se koriste u simulaciji, njihova svojstva kao i njihova međudjelovanja. U simulaciji se koriste tri materijala – čelik, sol za posipanje (NaCl) i beton koji zamjenjuje asfaltnu površinu testne podloge. U [Tablica 7.], [Tablica 8.] i [Tablica 9.] dana su mehanička svojstva materijala dok su u [

Tablica 10.] definirana međudjelovanja između materijala.

Fizička svojstva materijala i njihova međudjelovanja prema [5], [8], [9] i [10] su sljedeća:

Tablica 7. Mehanička svojstva čelika

Materijal	čelik
Poissonov koeficijent (ν_{ϵ})	0,3
Modul smicanja (G_{ϵ}), Pa	$8 \cdot 10^{10}$
Gustoća (ρ_{ϵ}), kg/m ³	7850

Tablica 8. Mehanička svojstva soli (NaCl)

Materijal	NaCl
Poissonov koeficijent (ν_s)	0,252
Modul smicanja (G_s), Pa	$8,97 \cdot 10^9$
Gustoća (ρ_s), kg/m ³	2300

Tablica 9. Mehanička svojstva betona

Materijal	čelik
Poissonov koeficijent (ν_b)	0,15
Modul smicanja (G_b), Pa	$2,1 \cdot 10^8$
Gustoća (ρ_b), kg/m ³	2300

Tablica 10. Koeficijenti međudjelovanja materijala simulacije

Materijal-Materijal	Koeficijent restitucije, e	Koeficijent statičkog trenja, μ_s	Koeficijent trenja kotrljanja, μ_k
sol - sol	0,15	0,725	0,01
sol - beton	0,22	0,65	0,02
sol - čelik	0,22	0,627	0,01

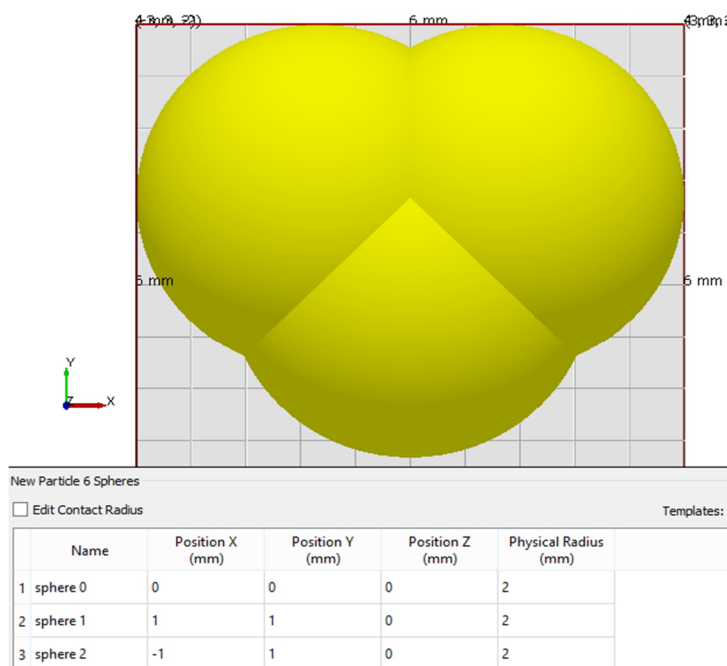
Nakon definiranja materijala potrebno je definirati oblik i veličinu čestica. Veličina i masa čestica definirane su prema zahtjevima obrađenim u poglavlju [3. Klasifikacija i certifikacija posipača]. Ispitivanje koje se provodi u simulaciji je dinamičko ispitivanje za posipač tipa A s ukupnim masenim protokom od $q_{m1} = 15 \text{ kg/min}$, odnosno željenom masom posipanja od 30 g/m^2 .

Tablica 11. Veličina i broj čestica u ispitivanju

Veličina čestica, mm	Postotak u ukupnoj težini, %	Maseni protok q_{m1} , kg/min	Maseni protok q_{m2} , kg/s	Masa čestice, kg	Broj čestica N_c , 1/s
>5	1	0,15	0,0025	$1,43 \cdot 10^{-4}$	17
3,15 – 5,00	15	2,25	0,0375	$5,2 \cdot 10^{-5}$	721
1,6 – 3,15	40	6	0,1	$9 \cdot 10^{-6}$	11111
0,8 – 1,6	30	4,5	0,075	$5 \cdot 10^{-6}$	15000
0,16 – 0,8	10	1,5	0,025	$4,03 \cdot 10^{-7}$	62127
<0,16	4	0,6	0,01	$4,8 \cdot 10^{-9}$	2077706
Σ	100	15	0,25		

Vidljivo je iz [Tablica 11] da smanjenjem veličine čestica broj čestica potrebnih prema željenom masenom protoku naglo raste. Povećanje broja čestica uzrokuje eksponencijalni rast broja interakcija između čestica, odnosno povećanje sustava jednadžbi, što uzrokuje dulje potrebno vrijeme za provedbu simulacije. Kako bi se simulacije mogle provesti u prihvatljivom vremenskom razdoblju te zbog ograničenosti računala na kojem se proračun provodi i ograničenja dostupne licence, potrebno je provesti pojednostavljenja u simulaciji. Prvo pojednostavljenje je u vidu veličine čestica koje će se koristiti i to su prve četiri grupe čestica koje sudjeluju u ukupnom masenom protoku s 86%, a s brojem čestica 1,3% od njihovog ukupnog broja. Stvarni maseni protok, nakon isključivanja zadnje dvije grupe čestica, iznosi

$q_{m2} = 12,85 \text{ kg/min}$, a željena masa posipanja u tri polja po polju iznosi $25,8 \text{ g/m}^2$, odnosno $77,4 \text{ g}$ po metru duljine ispitivanja. Prema [3.4.3 Dinamičko ispitivanje] ukupna sakupljena masa mora biti minimalno 75% od ukupne željene mase po metru duljine ispitivanja i ona iznosi $58,05 \text{ g}$. Za definiranje oblika čestica korištena je metoda više međusobno spojenih sfera kojima se stvara oblik kristala NaCl. Moguće je koristiti i stvarni oblik kristala s oštrim bridovima, ali to nije preporučljivo zbog numeričke stabilnosti modela.



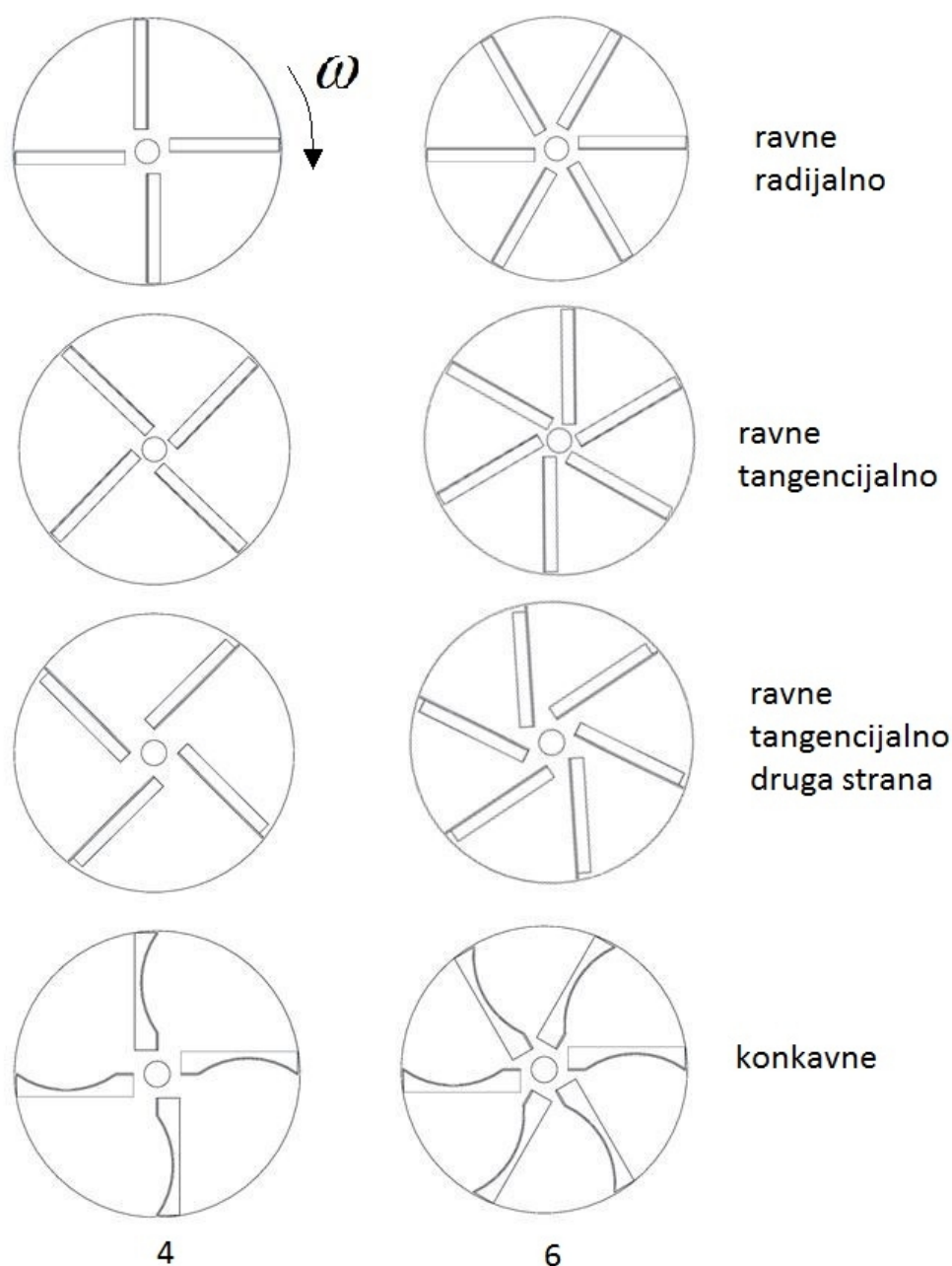
Slika 20. Čestica soli formirana pomoću 3 sfere

Tablica 12. Podaci za formiranje čestica soli različitih veličina

Veličina čestica, mm	Sfera	Radijus, R, mm	x, mm	y, mm	z, mm
>5	S1	2	0	0	0
	S2	2	1	1	0
	S3	2	-1	1	0
3,15 – 5,00	S1	1,5	0	0	0
	S2	1,5	0,55	0,55	0
	S3	1,5	-0,55	0,55	0
1,6 – 3,15	S1	0,825	0	0	0
	S2	0,825	0,36	0,36	0
	S3	0,825	-0,36	0,36	0
0,8 – 1,6	S1	0,7	0	0	0
	S2	0,7	0,25	0,25	0
	S3	0,7	-0,25	0,25	0

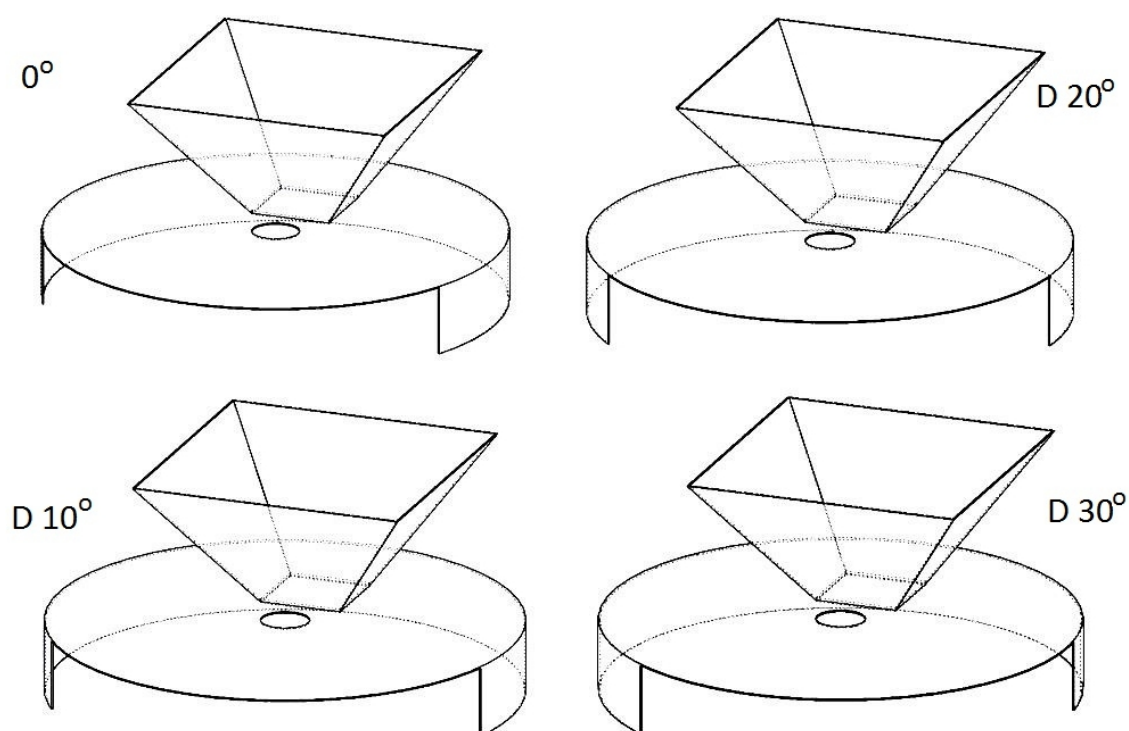
5.1. Definiranje geometrije modela

U sklopu ovog rada obrađena su dva tipa lopatica – ravne i konkavne. Ravne lopatice postavljene su u tri različita položaja: prvi je radijalni, a drugi i treći tangencijalni s međusobno različito okrenutim lopaticama na smjer vrtnje diska, što je vidljivo na [Slika 21]. Konkavne lopatice smještene su radijalno. Korišten je rotirajući disk s 4 i sa 6 lopatica s različitim brzinama vrtnje, dok je rotacija definirana u smjeru kazaljke na satu. Promjer diska iznosi $d_D = 300$ mm.



Slika 21. Osam različitih konfiguracija rotirajućeg diska

Drugi element koji određuje smjer posipanja je štitnik s veličinom i položajem otvora. Zbog ranije spomenutih razloga, provedene su simulacije samo s jednom veličinom otvora i ona iznosi 130° . Mijenjan je položaj otvora od početnog centriranog do 30° zakrenutog u desnu stranu s obzirom na kretanje vozila gledano sa stražnje strane. Zakretanje je rađeno u koracima od 10° .



Slika 22. Četiri različite konfiguracije štitnika s različitim zakretom otvora

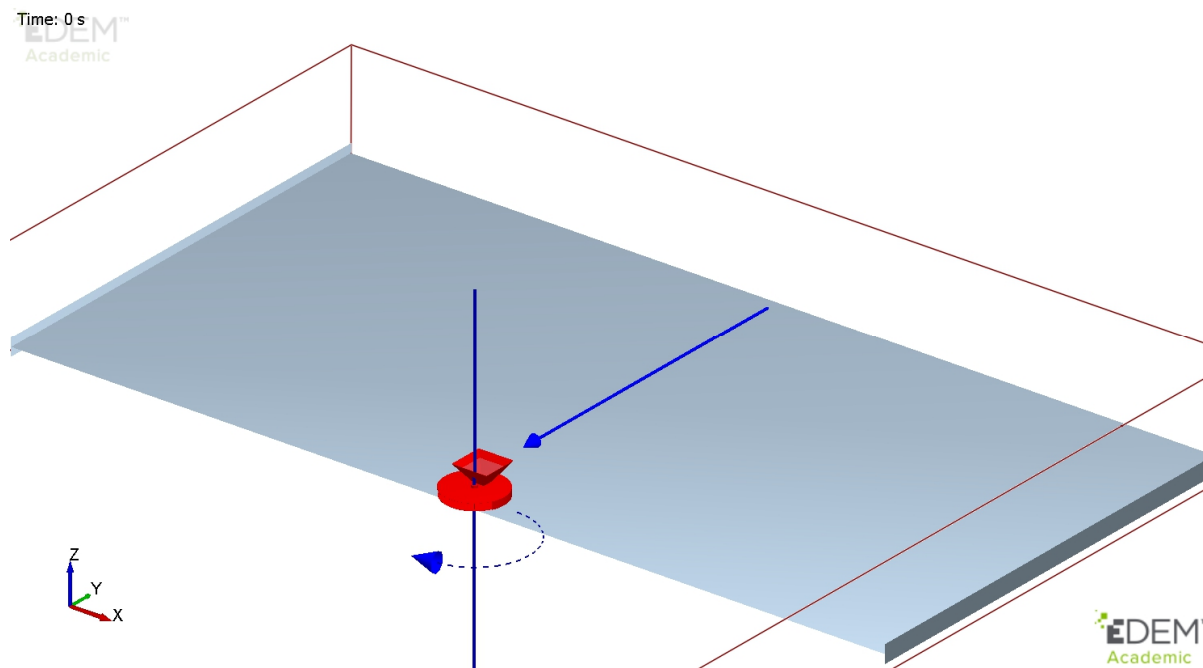
Lijevak koji se nalazi s gornje strane je većih dimenzija nego kod stvarnog modela zbog toga što je bilo potrebno osigurati dovoljno veliki presjek u kojem se uvode čestice u simulaciju radi osiguranja numeričke stabilnosti simulacijskog modela.

Treći element geometrije koji je bilo potrebno definirati je podloga. Kako bi se smanjio ukupni broj čestica, odnosno aktivno vrijeme ulaznog presjeka čestica i sama složenost simulacije, bilo je potrebno uvesti drugo pojednostavljenje koje se odnosi na relativno gibanje između posipača i podloge. Umjesto posipača koji se giba jednoliko pravocrtno po podlozi brzinom od 10 km/h, simulacija je postavljena da se podloga giba u suprotnom smjeru brzinom od 10 km/h te tako relativno gibanje između ta dva elementa ostaje nepromijenjeno. Na bočnim stranama podloge uzdignuti su graničnici visine 10 cm kako bi sav posipni materijal u željenoj posipnoj duljini ostao na ispitnoj podlozi i ušao u analizu rasipanja.

Podloga je definirana kao pravokutnik dimenzija:

- širina – 5000 mm
- duljina – 2500 mm

Nakon što se maseni protok ujednači, 0,5 sekunde nakon pokretanja simulacija, započinje kretanja podloge brzinom od 10 km/h, odnosno 2,78 m/s prema posipnom rotirajućem disku prema [Slika 23]. Aktivno vrijeme presjeka pomoću kojeg se uvode nove čestice je 2 sekunde.



Slika 23. Definirana geometrija simulacije s kinematikom

Nakon definirane geometrije potrebno je postaviti u sučelju *EDEM Simulator* parametre za procesuiranje unesenih podataka iz sučelja *EDEM Creator*.

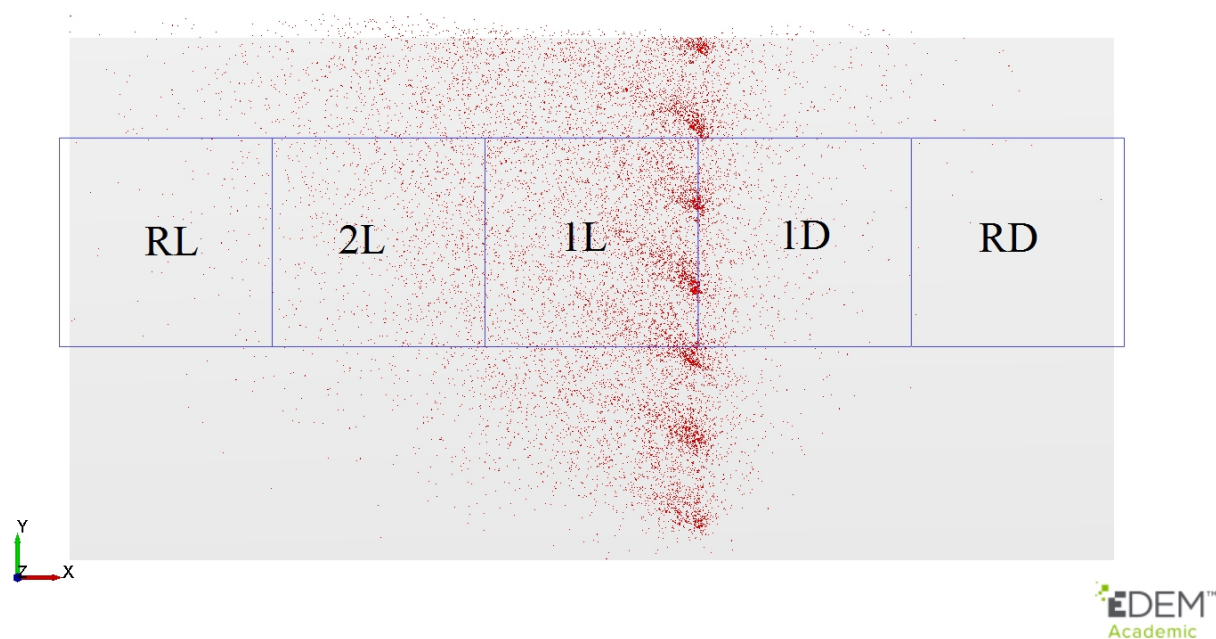
Parametri iznose:

- Vremenski korak (*Fixed Time Step*) – 30%
- Ukupno vrijeme (*Total Time*) – 2,3 s
- Vremenski interval spremanja (*Target Save Interval*) – 0,1 s
- Veličina ćelije (*Cell Size*) – 7 R min
- Selektivno spremanje (*Selective Save*) – osnovne informacije o čestici, brzina (*Base Particle Data, Velocity*)

6. REZULTATI SIMULACIJE

Nakon završetka numeričke obrade simulacije potrebno je u sučelju *EDEM Analyst* provesti analizu dobivenih rezultata.

Prema [3. KLASIFIKACIJA I CERTIFIKACIJA POSIPAČA] potrebna duljina sakupljanja posipnog materijala iznosi 2,5 m, ali zbog ranije spomenutih ograničenja hardvera i softvera potrebno je u simulaciji smanjiti duljinu sakupljanja na 1 m. Taj 1 m predstavlja reprezentativni uzorak na duljinu od 2,5 m duljine podloge koja se koristila u simulaciji te u kombinaciji s podjelom po širini od 1 m čini kvadratna polja s površinom kvadrata od 1 m². Polja su napravljena pomoću naredbe *Grid Bin Group* što je vidljivo na [Slika 24]. Također, vidljivo je da polja nisu centrirana na polovicu duljine ispitne duljine podloge već su pomaknuta prema kraju podloge za 500 mm kako bi se osiguralo dovoljno vremena za prestanak gibanja čestica.



Slika 24. Mjerna polja simulacije

Oznake polja:

- RL – rasipanje lijevo
- L2 – 2. metar lijevo od centralne osi posipača
- L1 – 1. metar lijevo od centralne osi posipača
- R1 – 1. metar desno od centralne osi posipača
- RD – rasipanje desno

6.1. Rezultati – centrirani otvor štitnika (0°)

U ovom poglavlju bit će obrađeni rezultati svih osam različitih konfiguracija rotirajućeg diska sa štitnikom čiji je otvor centriran, odnosno simetrala kuta otvora štitnika se u tlocrtu preklapa s uzdužnom centralnom osi posipača.

6.1.1. Rezultati 4 ravne lopatice – radialno (0°)

Tablica 13. Rezultati 4 ravne lopatice – radialno (0°)

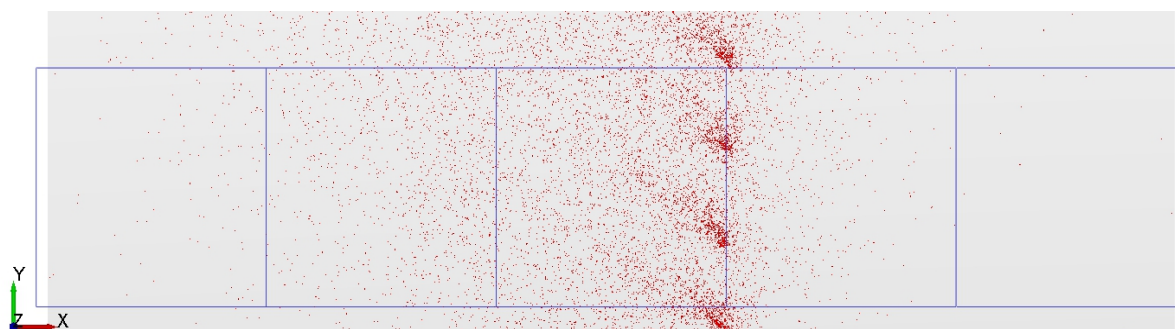
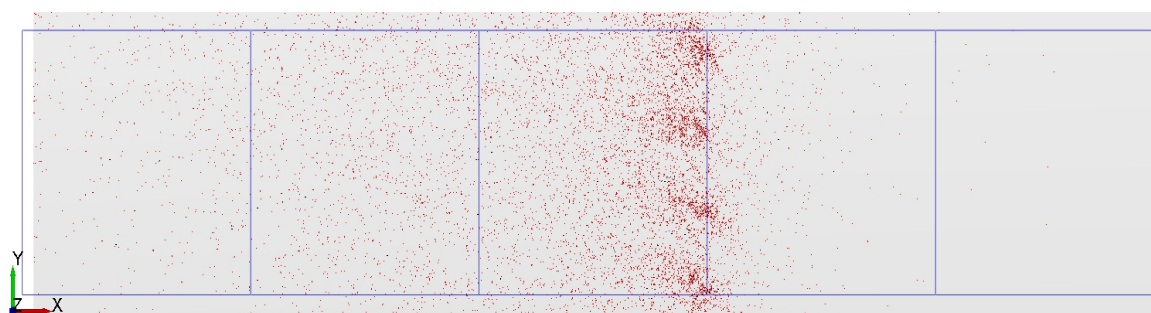
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	2	58	60	0,926	
2L	2	37	501	738	10,409	12,9 - 25,8
1L	4	144	2063	2251	37,882	15,48 - 25,8
1D	0	52	555	661	11,004	12,9-25,8
RD	0	0	5	9	0,09	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	60,31					
Ukupno rasipanje, g	1,02					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

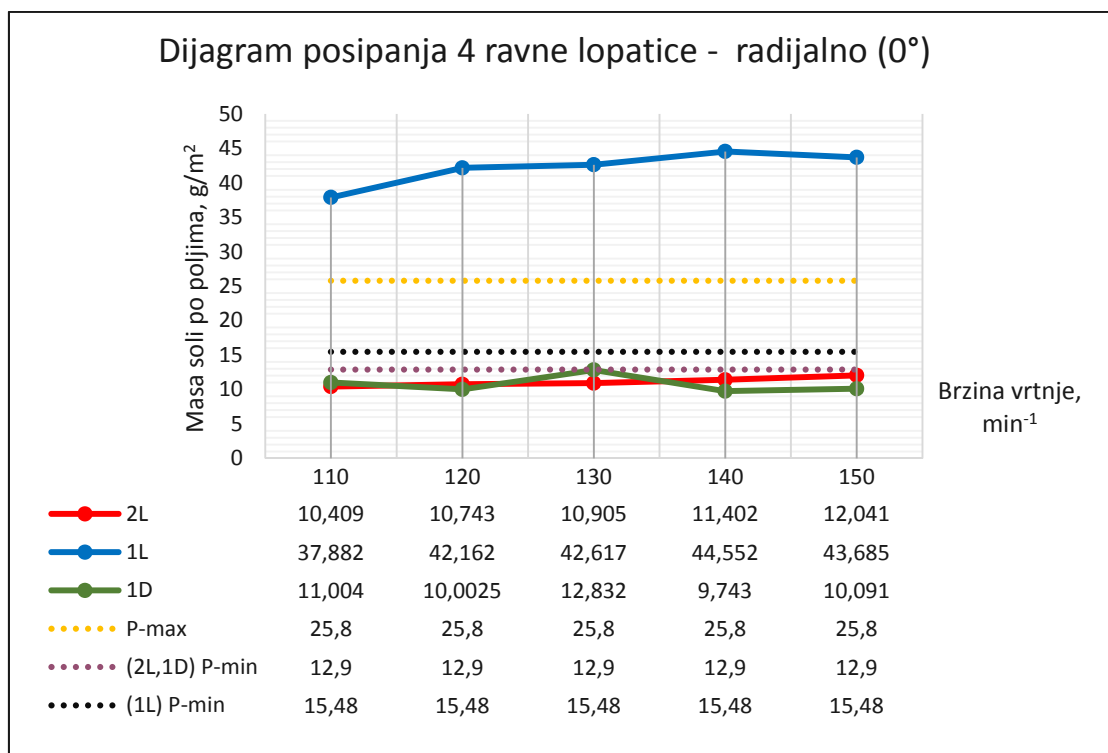
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	80	126	1,506	
2L	2	34	541	764	10,743	12,9 - 25,8
1L	3	164	2160	2753	42,162	15,48 - 25,8
1D	2	37	505	654	10,025	12,9-25,8
RD	0	0	6	12	0,114	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	64,55					
Ukupno rasipanje, g	1,62					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	141	171	2,644	
2L	0	26	612	809	10,905	12,9 - 25,8
1L	7	162	2223	2637	42,617	15,48 - 25,8
1D	1	71	618	687	12,832	12,9-25,8
RD	0	0	4	5	0,061	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	69,059					
Ukupno rasipanje, g	2,705					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

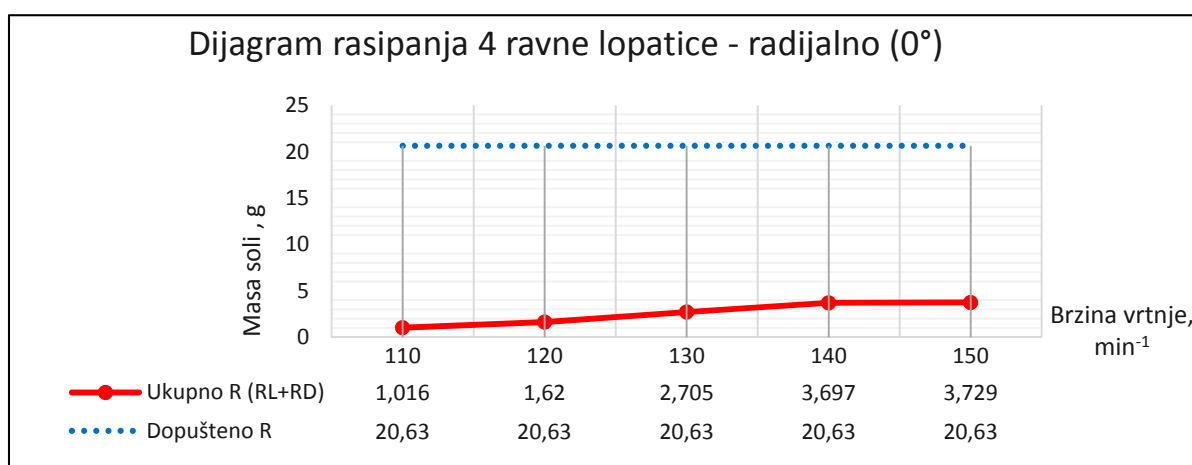
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	9	174	312	3,594	
2L	1	27	610	873	11,402	12,9 - 25,8
1L	0	170	2343	2925	44,552	15,48 - 25,8
1D	2	36	490	635	9,743	12,9-25,8
RD	0	0	7	8	0,103	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	69,394					
Ukupno rasipanje, g	3,697					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	4	220	295	3,663	
2L	0	40	624	869	12,041	12,9 - 25,8
1L	3	166	2236	2900	44,257	15,48 - 25,8
1D	1	37	526	658	10,091	12,9-25,8
RD	0	0	4	6	0,066	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,118					
Ukupno rasipanje, g	3,729					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 25. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°) – 110 min⁻¹Slika 26. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (0°) – 150 min⁻¹



Slika 27. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – radijalno (0°)



Slika 28. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – radijalno (0°)

Iz dijagrama [Slika 27] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve.

Iz dijagrama [Slika 28] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su u dopuštenim propisanim granicama.

6.1.2. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)

Tablica 14. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)

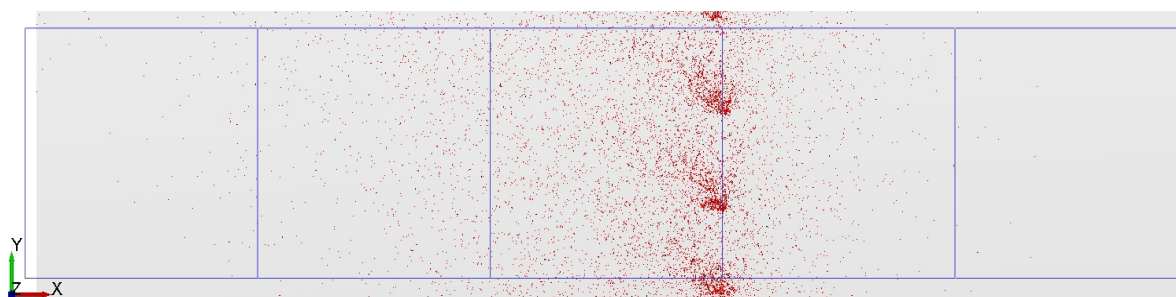
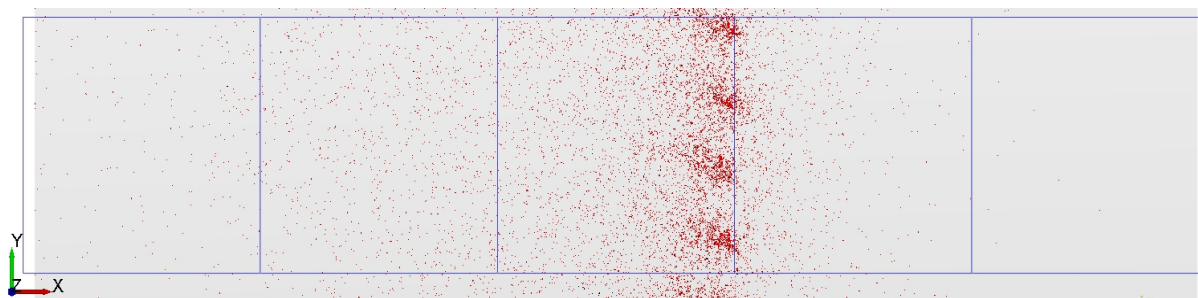
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	4	19	56	0,659	
2L	0	16	299	436	5,703	12,9 - 25,8
1L	4	168	2306	2907	44,597	15,48 - 25,8
1D	1	54	821	988	15,28	12,9-25,8
RD	0	0	4	10	0,086	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	66,325					
Ukupno rasipanje, g	0,745					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

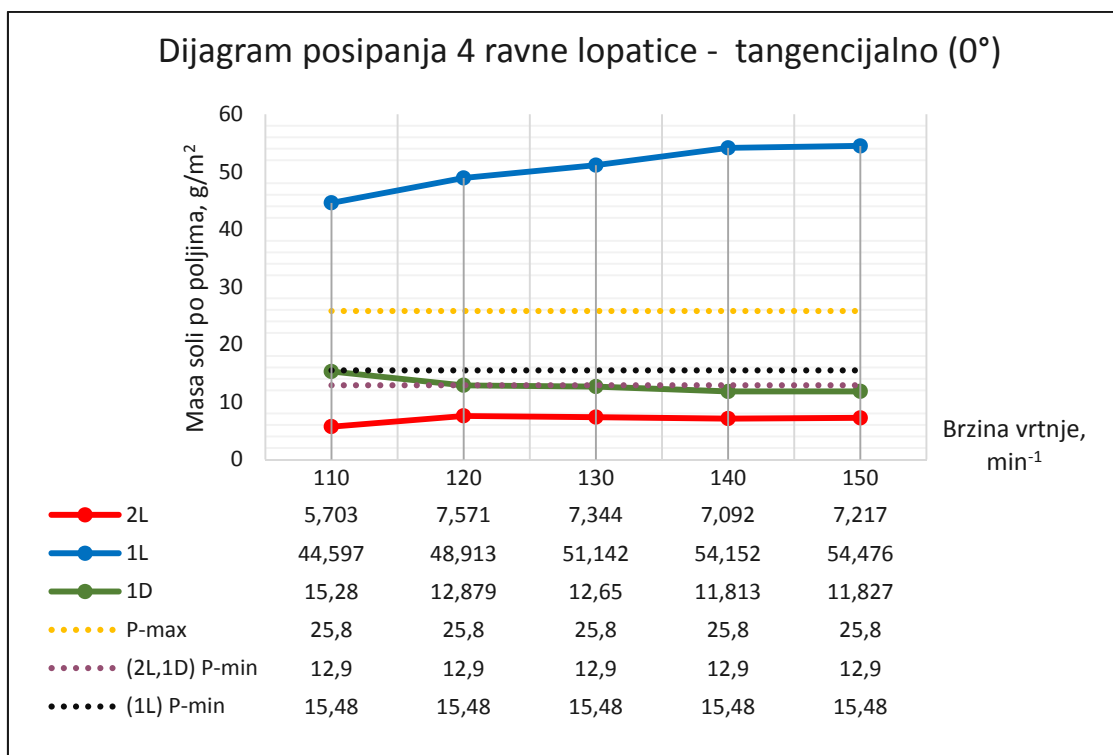
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	2	35	69	0,764	
2L	0	18	415	580	7,571	12,9 - 25,8
1L	5	182	2541	3173	48,913	15,48 - 25,8
1D	2	35	712	873	12,879	12,9-25,8
RD	0	0	2	8	0,058	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,185					
Ukupno rasipanje, g	0,822					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	5	61	119	1,404	
2L	0	11	403	629	7,344	12,9 - 25,8
1L	4	187	2644	3410	51,142	15,48 - 25,8
1D	1	51	640	819	12,65	12,9-25,8
RD	0	0	4	4	0,056	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	72,596					
Ukupno rasipanje, g	1,46					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

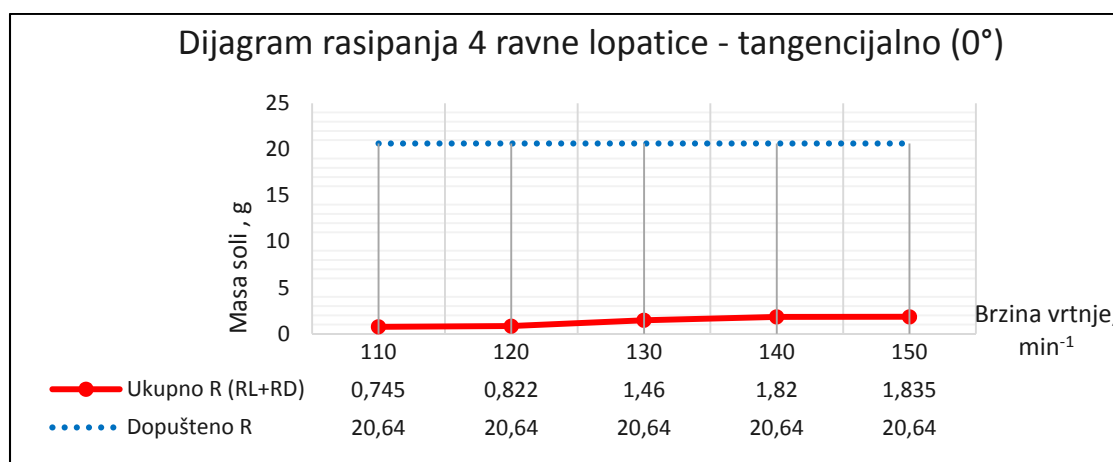
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	1	84	153	1,729	
2L	0	15	373	591	7,092	12,9 - 25,8
1L	4	198	2846	3534	54,152	15,48 - 25,8
1D	0	44	620	789	11,813	12,9-25,8
RD	0	0	4	11	0,091	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	74,877					
Ukupno rasipanje, g	1,82					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	93	155	1,768	
2L	0	12	377	640	7,217	12,9 - 25,8
1L	4	205	2836	3544	54,476	15,48 - 25,8
1D	0	30	663	860	11,827	12,9-25,8
RD	0	0	3	8	0,067	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	75,355					
Ukupno rasipanje, g	1,835					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 29. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°) – 110 min⁻¹Slika 30. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°) – 150 min⁻¹



Slika 31. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)



Slika 32. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno (0°)

Iz dijagrama [Slika 31] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve.

Iz dijagrama [Slika 32] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su daleko ispod dopuštene propisane granice. Povećanje rasipanja s povećanjem brzine vrtnje diska nije značajno.

6.1.3. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)

Tablica 15. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)

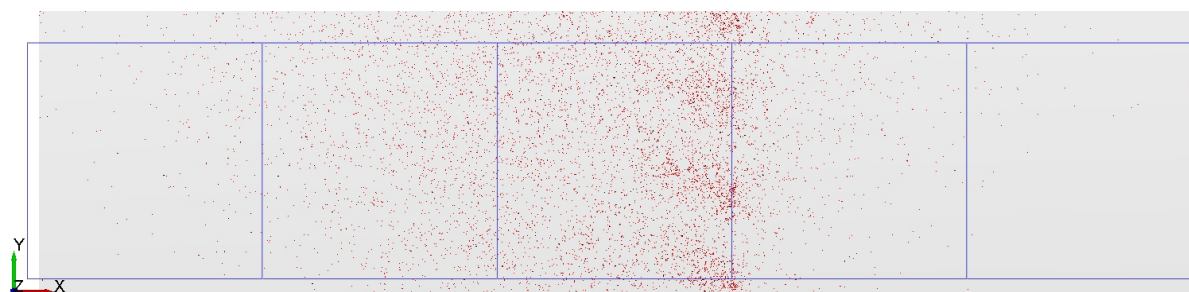
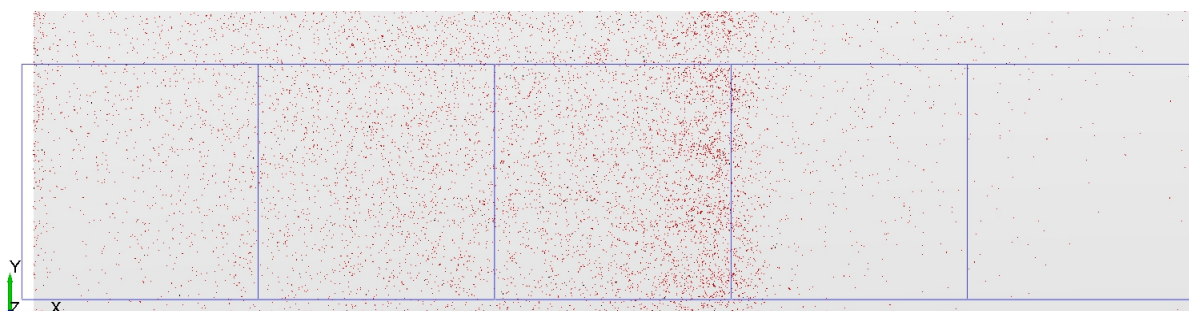
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	11	82	104	1,83	
2L	0	36	624	829	11,633	12,9 - 25,8
1L	2	132	1726	1993	32,649	15,48 - 25,8
1D	1	32	432	510	8,245	12,9-25,8
RD	0	0	14	25	0,251	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	54,608					
Ukupno rasipanje, g	2,081					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

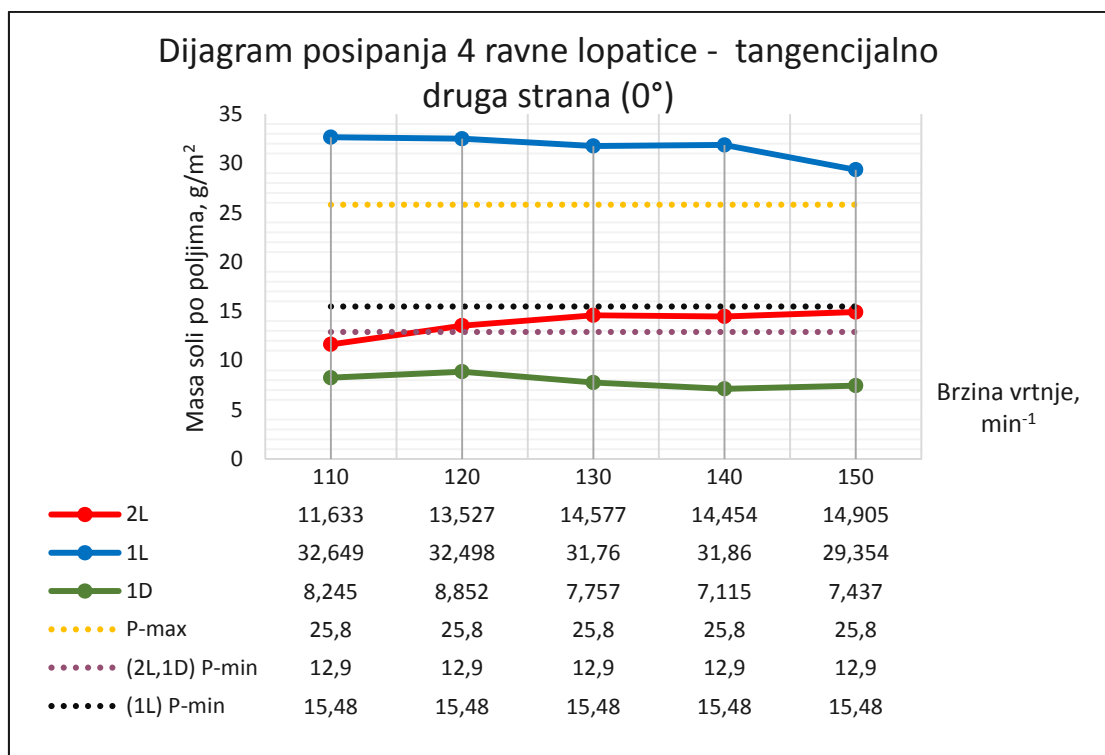
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	14	143	176	2,895	
2L	0	54	691	900	13,527	12,9 - 25,8
1L	3	129	1699	2014	32,498	15,48 - 25,8
1D	2	40	444	498	8,852	12,9-25,8
RD	0	1	16	33	0,361	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	58,133					
Ukupno rasipanje, g	3,256					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	22	220	272	4,484	
2L	2	31	841	1022	14,577	12,9 - 25,8
1L	6	151	1545	1829	31,76	15,48 - 25,8
1D	0	26	445	480	7,757	12,9-25,8
RD	0	2	24	34	0,49	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,068					
Ukupno rasipanje, g	4,974					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

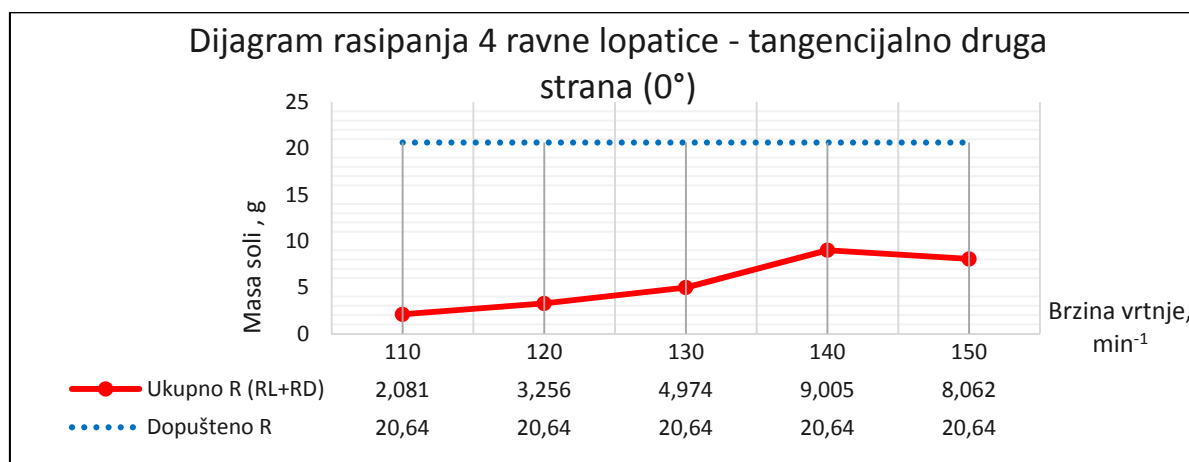
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	19	325	402	5,923	
2L	0	40	776	1078	14,454	12,9 - 25,8
1L	3	141	1576	1983	31,86	15,48 - 25,8
1D	1	26	375	449	7,115	12,9-25,8
RD	0	2	27	547	3,082	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	62,434					
Ukupno rasipanje, g	9,005					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	18	416	562	7,49	
2L	0	49	758	1107	14,905	12,9 - 25,8
1L	6	118	1475	1817	29,354	15,48 - 25,8
1D	0	32	382	467	7,437	12,9-25,8
RD	0	0	33	55	0,572	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,758					
Ukupno rasipanje, g	8,062					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 33. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°) – 110 min⁻¹Slika 34. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°) – 150 min⁻¹



Slika 35. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)



Slika 36. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)

Iz dijagrama [Slika 35] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve samo u polju 2L i to za sve brzine vrtnje osim 110 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 36] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.1.4. Rezultati 4 konkavne lopatice – (0°)

Tablica 16. Rezultati 4 konkavne lopatice – (0°)

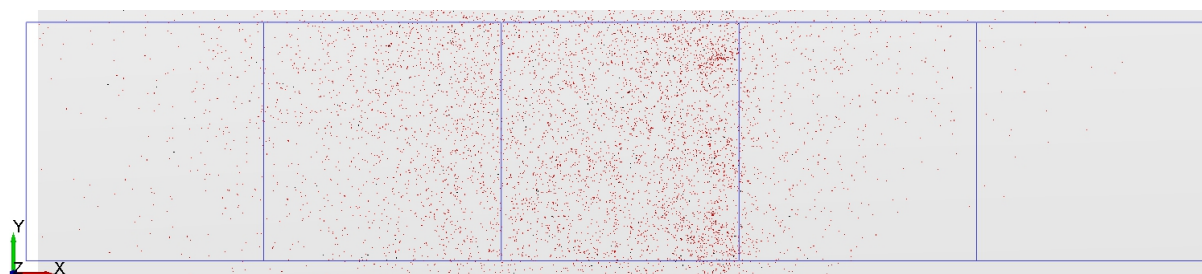
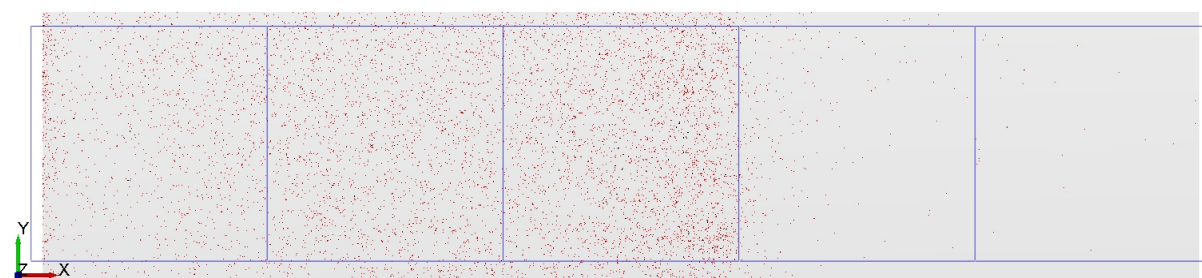
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	104	142	2,01	
2L	3	41	748	918	13,883	12,9 - 25,8
1L	3	131	1570	1886	30,801	15,48 - 25,8
1D	1	11	279	378	5,116	12,9-25,8
RD	0	0	15	17	0,22	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,03					
Ukupno rasipanje, g	2,23					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

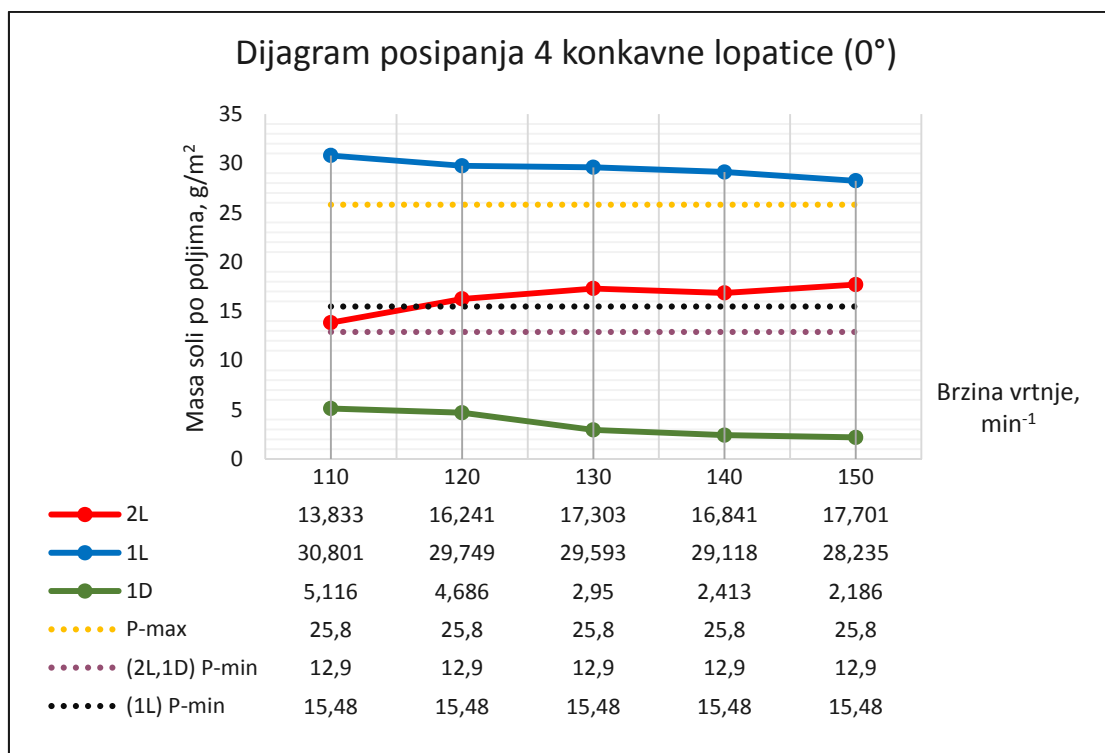
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	11	167	231	3,23	
2L	1	52	891	1075	16,241	12,9 - 25,8
1L	6	139	1467	1692	29,749	15,48 - 25,8
1D	1	23	208	295	4,686	12,9-25,8
RD	0	0	8	12	0,132	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	54,038					
Ukupno rasipanje, g	3,362					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	23	277	378	5,722	
2L	1	52	949	1183	17,303	12,9 - 25,8
1L	5	145	1427	1699	29,593	15,48 - 25,8
1D	0	13	141	201	2,95	12,9-25,8
RD	0	0	9	13	0,146	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	55,714					
Ukupno rasipanje, g	5,868					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

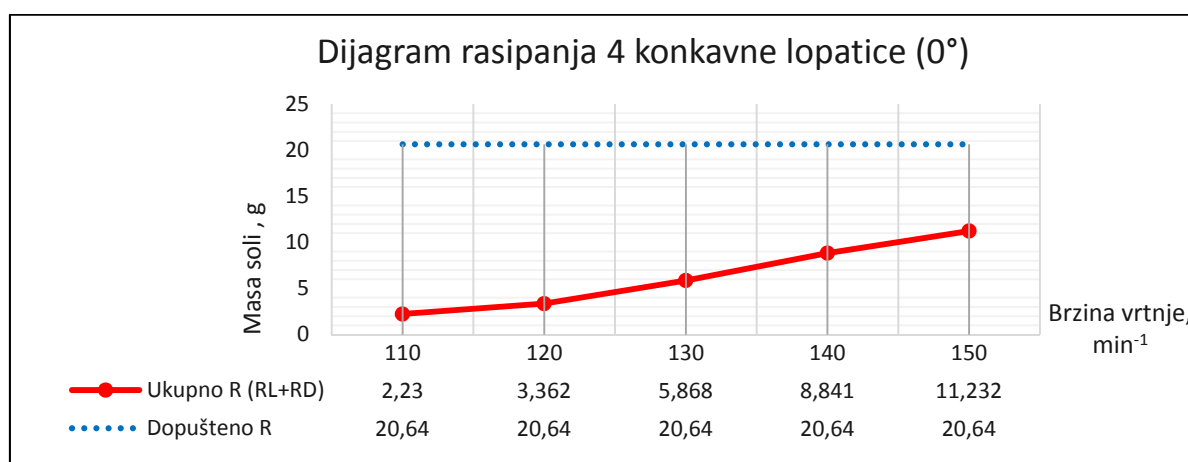
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	2	34	431	555	8,708	
2L	1	48	938	1152	16,841	12,9 - 25,8
1L	4	142	1428	1662	29,118	15,48 - 25,8
1D	0	8	123	178	2,413	12,9-25,8
RD	0	0	7	14	0,133	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,213					
Ukupno rasipanje, g	8,841					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	37	595	752	11,039	
2L	2	62	939	1148	17,701	12,9 - 25,8
1L	2	137	1400	1645	28,235	15,48 - 25,8
1D	0	8	110	156	2,186	12,9-25,8
RD	0	0	12	17	0,193	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,354					
Ukupno rasipanje, g	11,232					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 37. Rezultati 4 konkavne lopatice (0°) – 110 min⁻¹Slika 38. Rezultati 4 konkavne lopatice (0°) – 150 min⁻¹



Slika 39. Dijagram posipanja 4 konkavne lopatice (0°)



Slika 40. Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (0°)

Iz dijagrama [Slika 39] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve samo u polju 2L. Zahtjev za ukupnom sakupljenom masom (58,05 g) zadovoljava samo posipanje s brzinom vrtnje od 150 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 40] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice. Rast s povećanjem brzine vrtnje je značajan.

6.1.5. Rezultati 6 ravnih lopatica – radialno (0°)

Tablica 17. Rezultati 6 ravnih lopatica – radialno (0°)

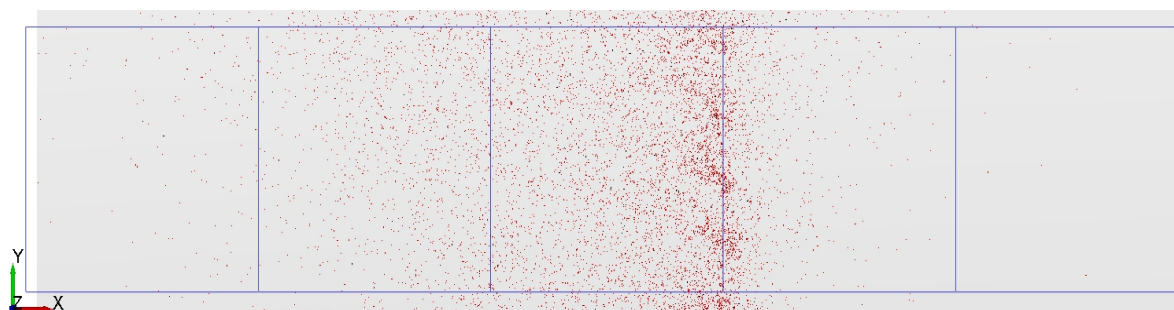
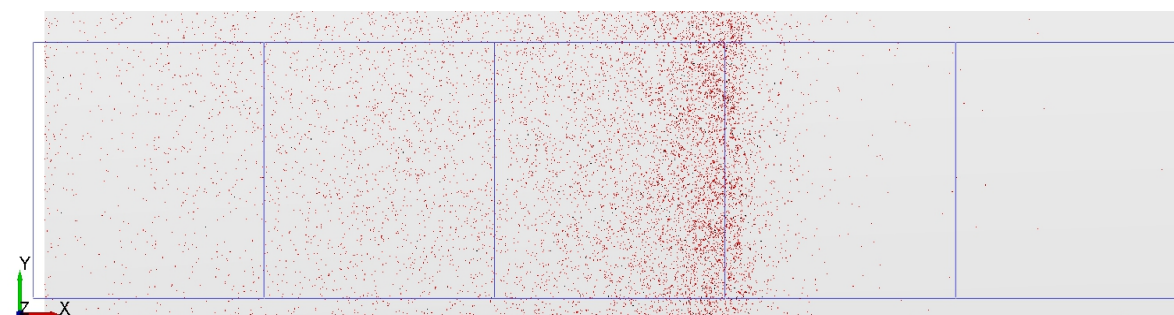
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	2	54	92	1,05	
2L	0	25	533	739	9,792	12,9 - 25,8
1L	4	162	1998	2496	39,458	15,48 - 25,8
1D	2	38	569	748	11,123	12,9-25,8
RD	0	0	5	5	0,07	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	61,493					
Ukupno rasipanje, g	1,12					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

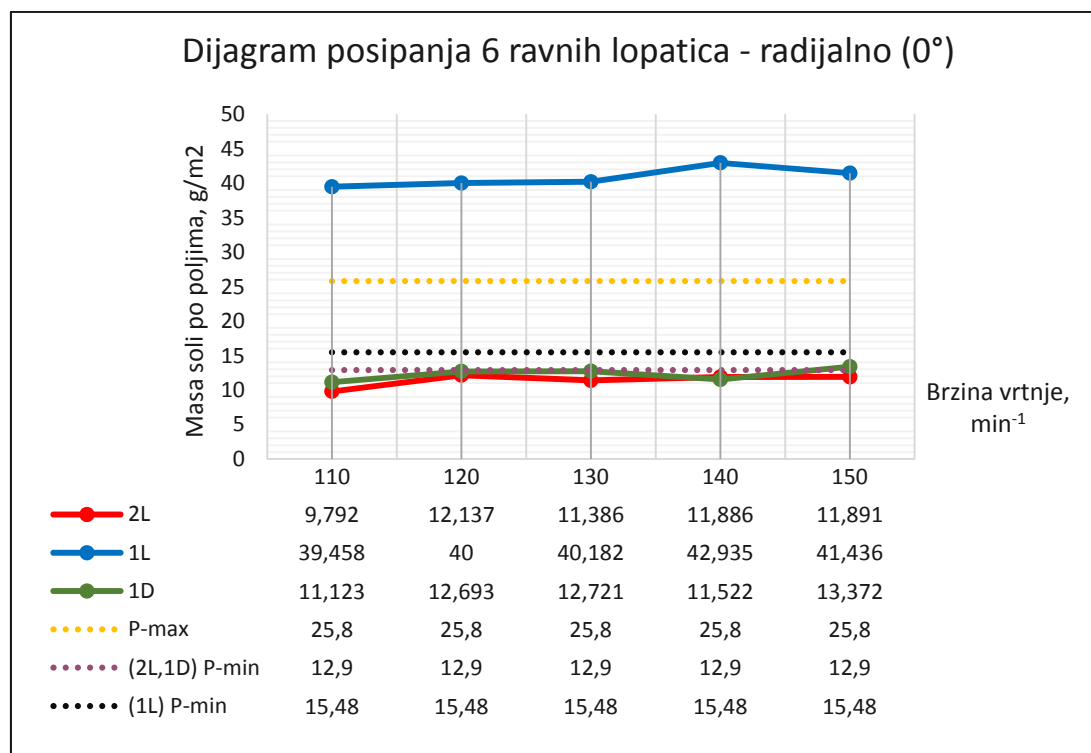
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	1	97	131	1,58	
2L	3	28	638	902	12,137	12,9 - 25,8
1L	5	168	2016	2483	40,01	15,48 - 25,8
1D	0	53	668	785	12,693	12,9-25,8
RD	0	0	3	7	0,062	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	66,482					
Ukupno rasipanje, g	1,642					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	113	243	2,752	
2L	0	23	635	895	11,386	12,9 - 25,8
1L	5	157	2097	2486	40,182	15,48 - 25,8
1D	1	51	659	799	12,721	12,9-25,8
RD	0	0	3	5	0,052	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	67,093					
Ukupno rasipanje, g	2,804					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

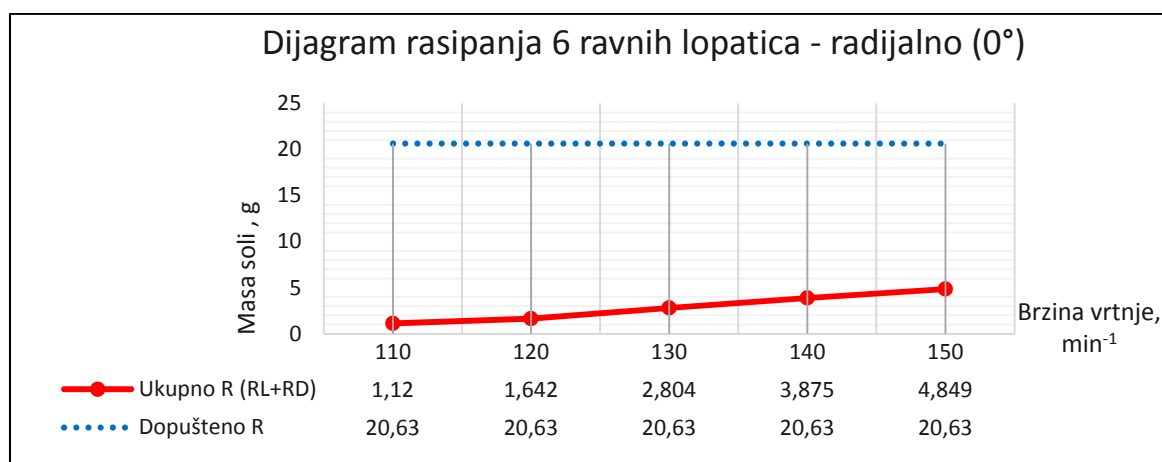
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	8	204	308	3,792	
2L	0	27	653	921	11,886	12,9 - 25,8
1L	4	165	2192	2811	42,935	15,48 - 25,8
1D	0	45	638	688	11,522	12,9-25,8
RD	0	0	2	13	0,083	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,218					
Ukupno rasipanje, g	3,875					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	250	400	4,77	
2L	0	24	672	919	11,891	12,9 - 25,8
1L	4	169	2099	2637	41,436	15,48 - 25,8
1D	1	66	673	748	13,372	12,9-25,8
RD	0	0	6	5	0,079	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	71,548					
Ukupno rasipanje, g	4,849					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 41. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°) – 110 min⁻¹Slika 42. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno (0°) – 150 min⁻¹



Slika 43. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – radijalno (0°)



Slika 44. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – radijalno (0°)

Iz dijagrama [

Slika 43Slika 27] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve.

Posipanje zadovoljava zahtjeve samo u polju 1D i to samo za brzinu vrtnje od 150 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 44] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.1.6. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)Tablica 18. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)

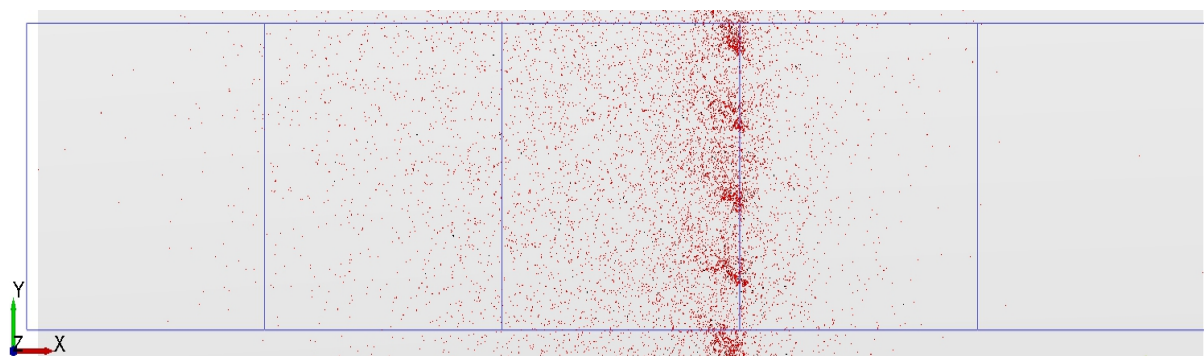
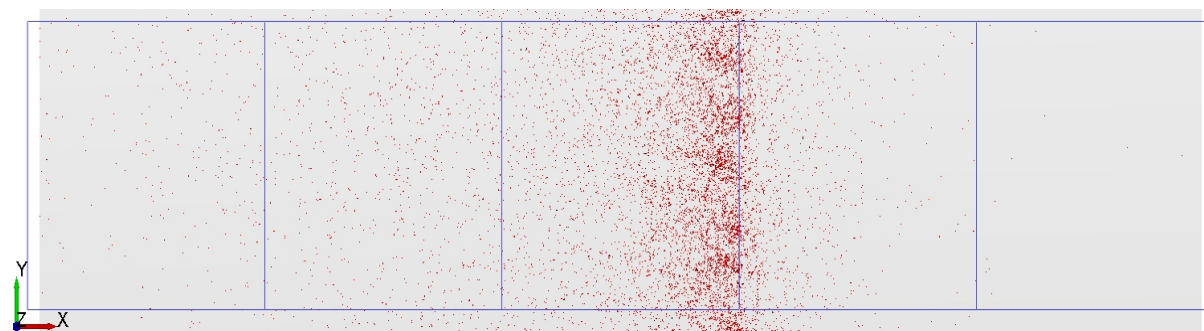
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	0	36	41	0,529	
2L	0	17	369	569	7,05	12,9 - 25,8
1L	3	176	2499	3120	47,672	15,48 - 25,8
1D	0	69	821	934	15,647	12,9-25,8
RD	0	0	3	6	0,057	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,955					
Ukupno rasipanje, g	0,586					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

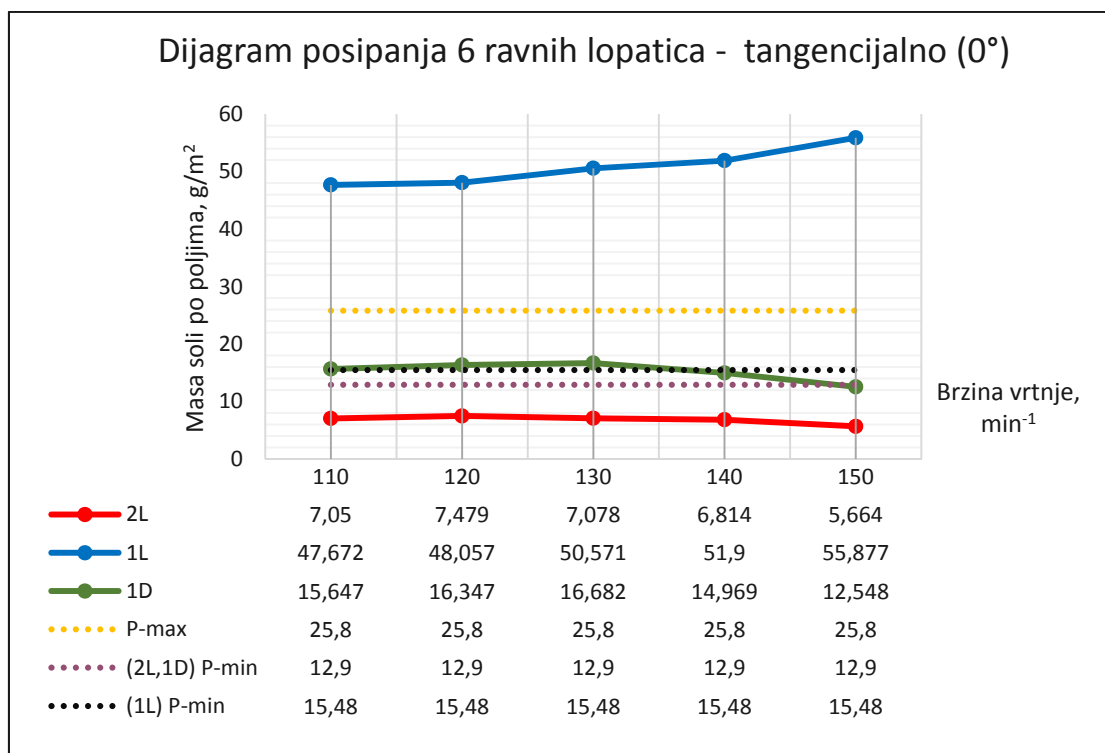
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	2	49	85	0,97	
2L	1	14	367	661	7,479	12,9 - 25,8
1L	3	178	2533	3115	48,057	15,48 - 25,8
1D	1	65	846	1042	16,347	12,9-25,8
RD	0	0	0	4	0,02	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	72,873					
Ukupno rasipanje, g	0,99					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	47	118	1,169	
2L	0	15	367	599	7,078	12,9 - 25,8
1L	7	185	2580	3346	50,571	15,48 - 25,8
1D	1	53	922	1097	16,682	12,9-25,8
RD	0	0	4	10	0,086	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	75,586					
Ukupno rasipanje, g	1,255					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

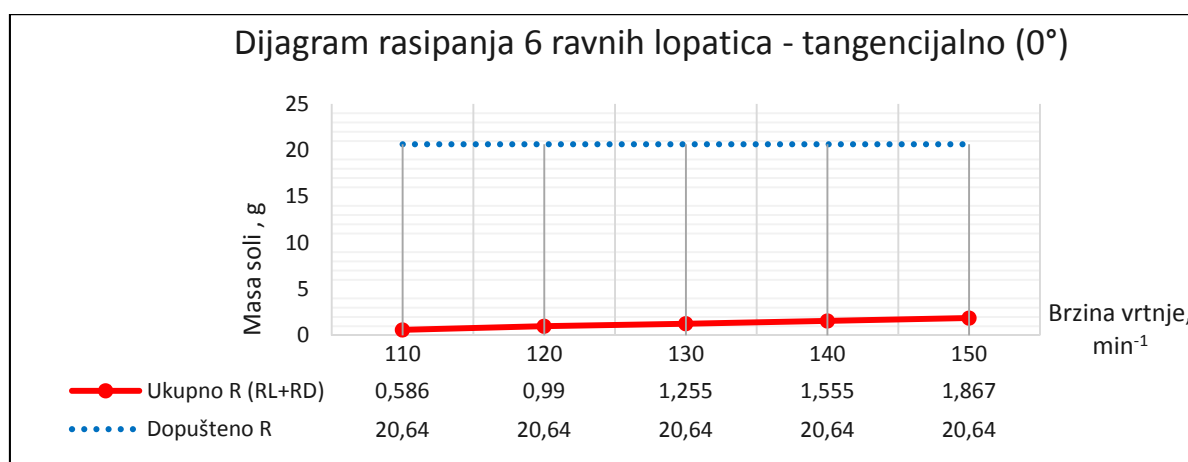
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	77	126	1,479	
2L	0	14	334	616	6,814	12,9 - 25,8
1L	5	198	2656	3397	51,9	15,48 - 25,8
1D	0	40	836	1073	14,969	12,9-25,8
RD	0	0	4	8	0,076	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	75,238					
Ukupno rasipanje, g	1,555					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	1	86	194	1,796	
2L	0	4	324	508	5,664	12,9 - 25,8
1L	4	220	2820	3697	55,877	15,48 - 25,8
1D	1	34	688	889	12,548	12,9-25,8
RD	0	0	4	7	0,071	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	75,956					
Ukupno rasipanje, g	1,867					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 45. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°) – 110 min⁻¹Slika 46. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°) – 150 min⁻¹



Slika 47. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)



Slika 48. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno (0°)

Iz dijagrama [Slika 47] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve samo u polju 1D i to za sve brzine vrtnje osim za 150 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 48] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.1.7. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°)

Tablica 19. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°)

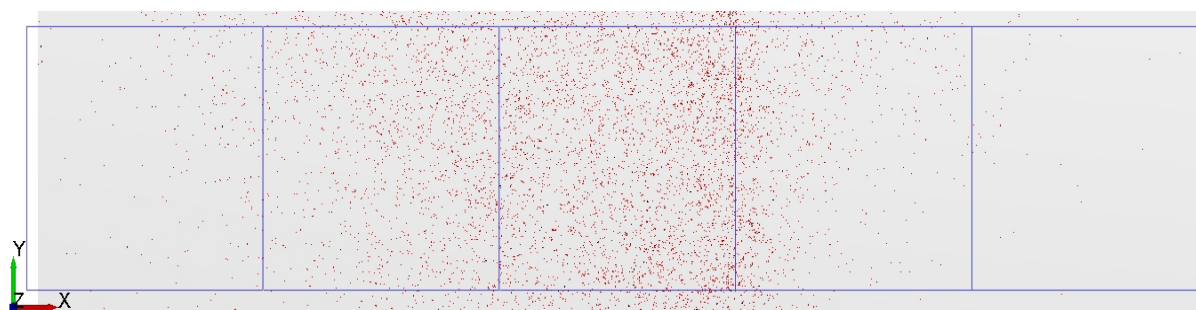
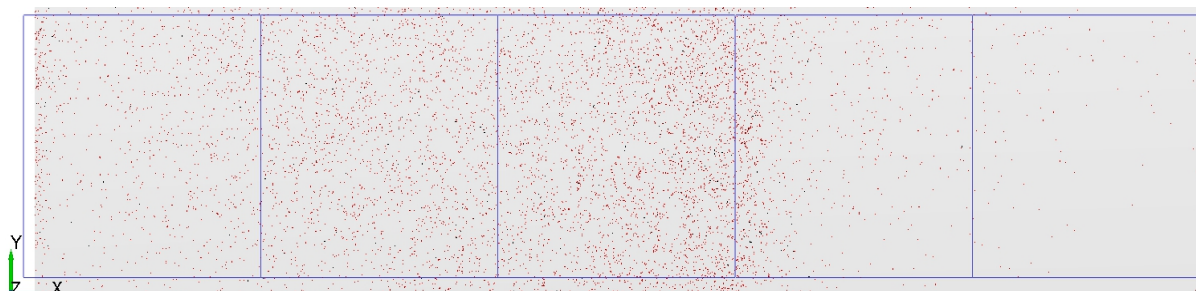
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	9	81	111	1,752	
2L	1	43	638	892	12,581	12,9 - 25,8
1L	3	120	1536	1759	29,288	15,48 - 25,8
1D	1	32	444	517	8,388	12,9-25,8
RD	0	0	16	16	0,224	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,233					
Ukupno rasipanje, g	1,976					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

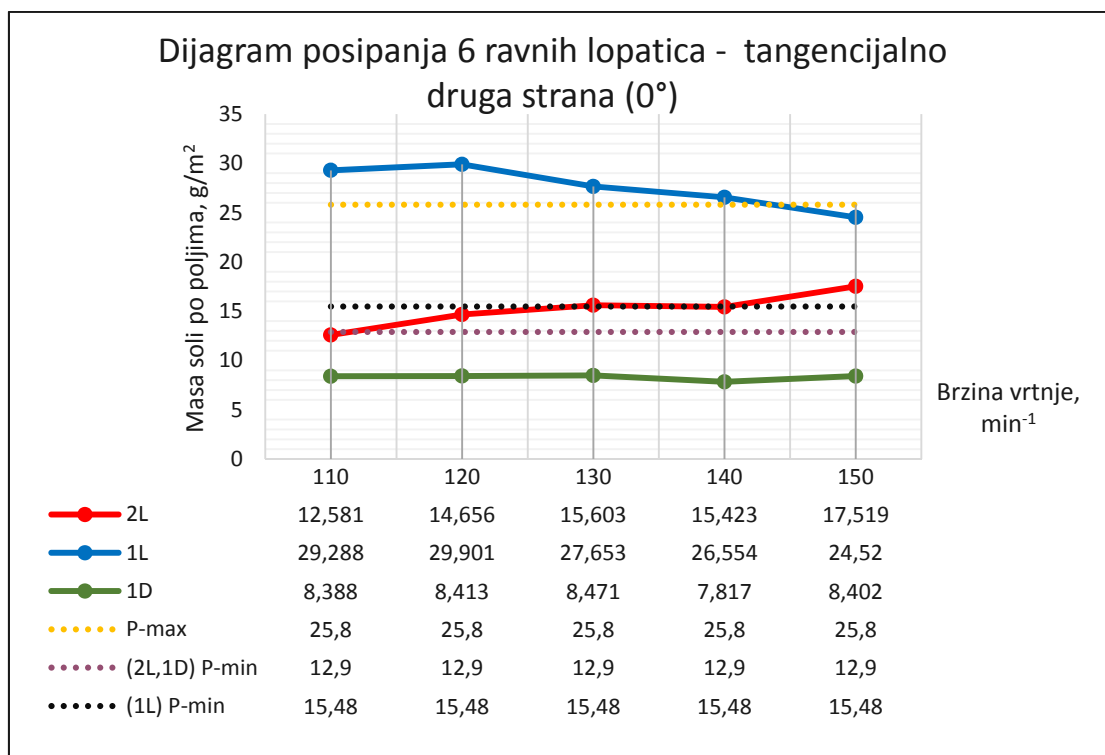
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	13	151	173	2,9	
2L	0	50	799	973	14,656	12,9 - 25,8
1L	2	151	1442	1757	29,901	15,48 - 25,8
1D	1	34	438	512	8,413	12,9-25,8
RD	0	0	19	40	0,371	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,241					
Ukupno rasipanje, g	3,271					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	2	17	232	302	4,768	
2L	1	60	840	956	15,603	12,9 - 25,8
1L	1	117	1424	1722	27,653	15,48 - 25,8
1D	0	34	467	500	8,471	12,9-25,8
RD	0	0	30	61	0,575	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,07					
Ukupno rasipanje, g	5,343					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

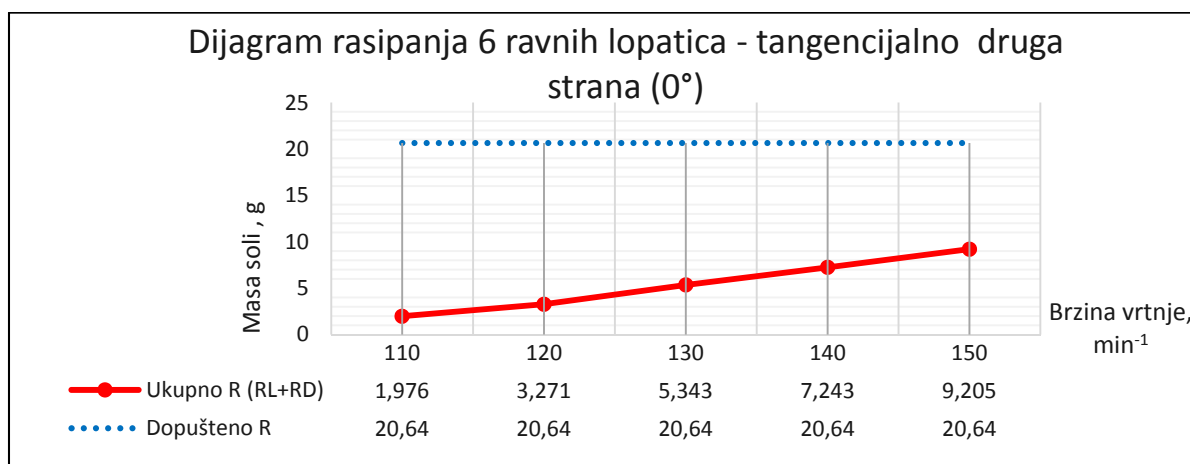
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	22	366	418	6,528	
2L	3	57	790	984	15,423	12,9 - 25,8
1L	4	102	1367	1675	26,554	15,48 - 25,8
1D	1	26	423	503	7,817	12,9-25,8
RD	0	2	39	52	0,715	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,037					
Ukupno rasipanje, g	7,243					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	28	463	557	8,408	
2L	1	55	809	1047	15,519	12,9 - 25,8
1L	2	107	1240	1502	24,52	15,48 - 25,8
1D	1	37	425	502	8,402	12,9-25,8
RD	0	0	53	64	0,797	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,646					
Ukupno rasipanje, g	9,205					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 49. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (0°) – 110 min⁻¹Slika 50. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (0°) – 150 min⁻¹



Slika 51. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (0°)



Slika 52. Dijagram rasipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (0°)

Iz dijagrama [Slika 51] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve u polju 1D i to samo za sve brzine vrtnje osim za 110 min⁻¹ i polju 1L za brzinu vrtnje od 150 min⁻¹. Zahtjev za ukupnom sakupljenom masom od 58,05 g ne zadovoljava posipanje niti s jednom brzinom vrtnje.

Iz dijagrama [Slika 52] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.1.8. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°)

Tablica 20. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°)

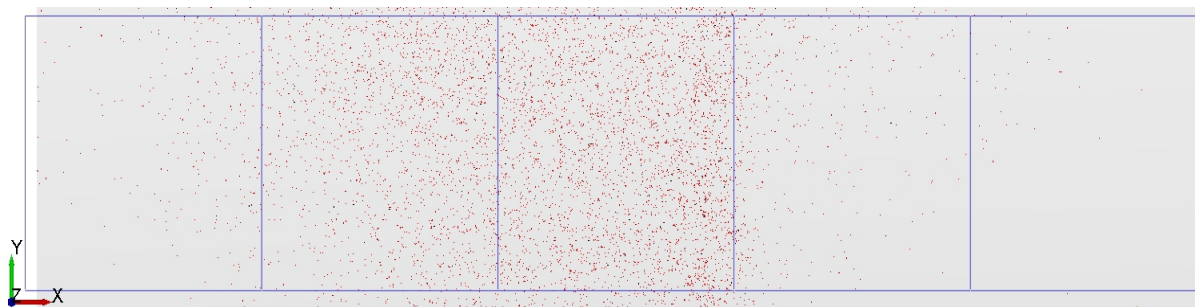
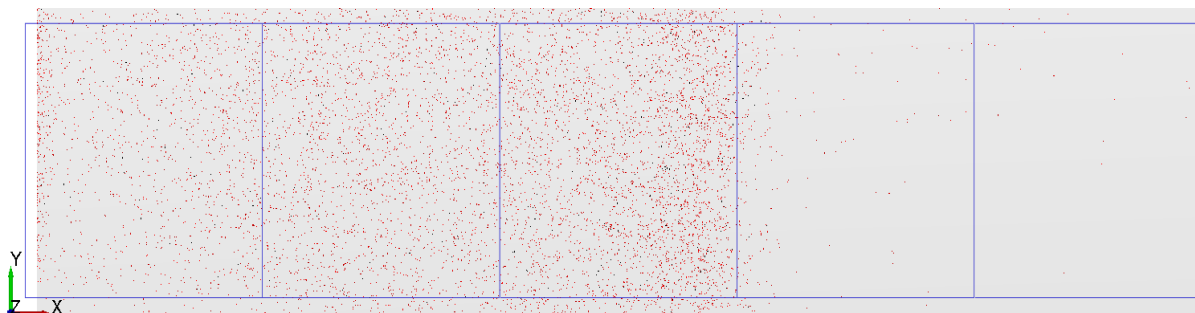
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	9	126	142	2,312	
2L	1	42	806	1019	14,676	12,9 - 25,8
1L	2	133	1508	1671	29,129	15,48 - 25,8
1D	1	17	210	245	4,142	12,9-25,8
RD	0	0	15	23	0,25	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	50,509					
Ukupno rasipanje, g	2,562					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

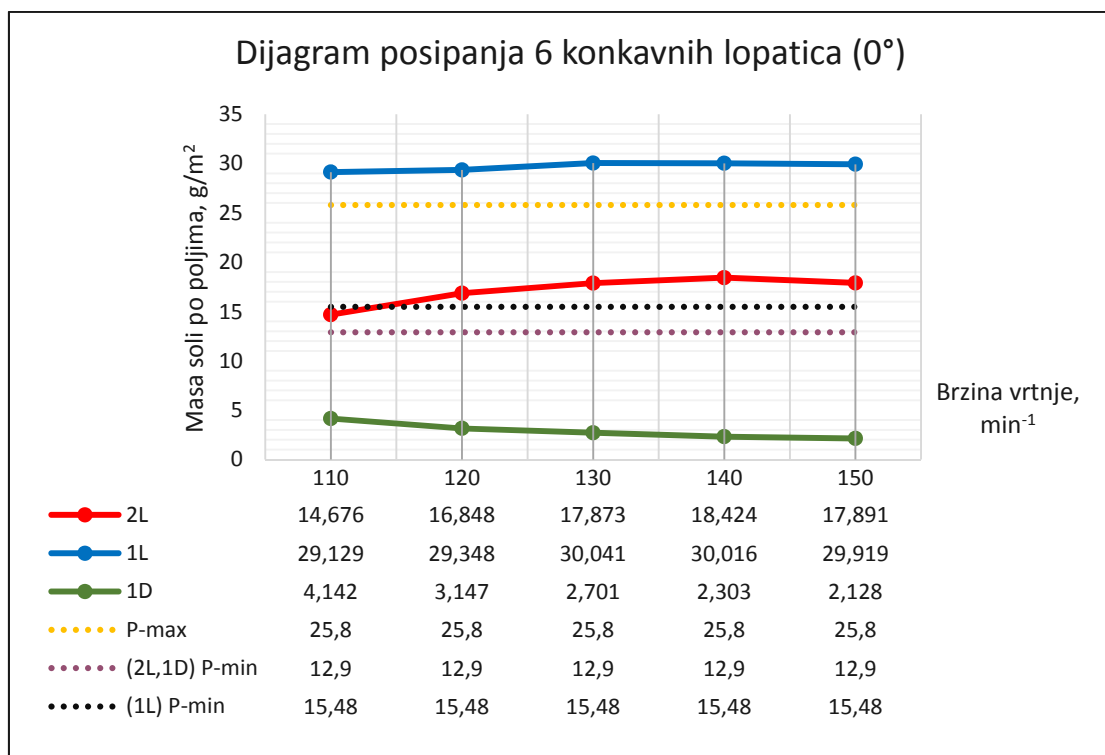
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	2	12	194	287	4,091	
2L	1	49	943	1134	16,848	12,9 - 25,8
1L	1	144	1483	1674	29,348	15,48 - 25,8
1D	0	17	152	179	3,147	12,9-25,8
RD	0	0	7	26	0,193	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	53,627					
Ukupno rasipanje, g	4,284					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	29	293	405	6,313	
2L	1	56	952	1250	17,873	12,9 - 25,8
1L	3	150	1483	1693	30,041	15,48 - 25,8
1D	1	12	126	160	2,701	12,9-25,8
RD	0	0	8	10	0,122	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,05					
Ukupno rasipanje, g	6,435					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

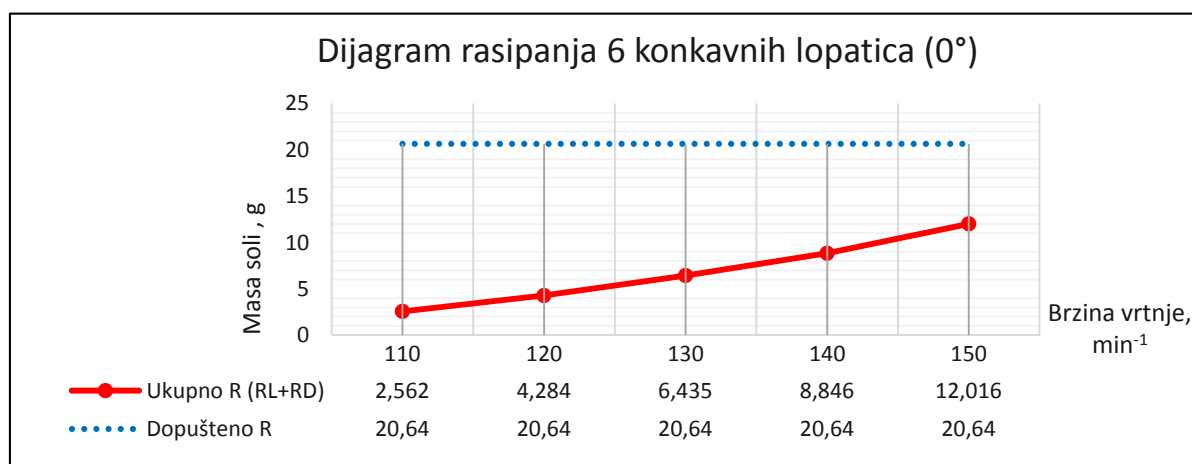
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	37	429	586	8,715	
2L	3	51	1012	1247	18,424	12,9 - 25,8
1L	4	151	1463	1685	30,016	15,48 - 25,8
1D	0	8	133	138	2,303	12,9-25,8
RD	0	0	9	10	0,131	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,589					
Ukupno rasipanje, g	8,846					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	43	583	849	11,871	
2L	0	67	953	1166	17,891	12,9 - 25,8
1L	6	142	1483	1666	29,919	15,48 - 25,8
1D	1	9	103	118	2,128	12,9-25,8
RD	0	0	10	11	0,145	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	61,954					
Ukupno rasipanje, g	12,016					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 53. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°) – 110 min⁻¹Slika 54. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (0°) – 150 min⁻¹



Slika 55. Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica (0°)



Slika 56. Dijagram rasipanja 6 konkavnih lopatica (0°)

Iz dijagrama [Slika 55] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve u polju 2L i to za sve brzine vrtnje. Zahtjev za ukupnom sakupljenom masom od 58,05 g zadovoljava posipanje s brzinom vrtnje od 140 min⁻¹ i 150 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 56] vidljivo je da ukupno rasipanje značajno raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.1.9. Zaključak rezultata s centriranim otvorom štitnika – (0°)

Analizom rezultata vezanih za 8 konfiguracija posipnog diska s centriranim otvorom štitnika utvrđeno je da niti jedna konfiguracija ne zadovoljava propisane zahtjeve. Najpravnomjernije posipanje postignuto je korištenjem 4 i 6 ravnih tangencijalnih lopatica okrenutih na drugu stranu, te 4 i 6 konkavnih lopatica [Slika 22]. Kod ravnih lopatica postavljenih radijalno i tangencijalno uočena je pojava grupiranje čestica oko centralne osi posipača, koja je izraženija kod korištenja 4 lopatice [Slika 25] od 6 lopatica [Slika 41] i kod nižih brzina vrtnje, što uzrokuje velike vrijednosti posipane mase soli u pojedinom ispitnom polju. Kod svih konfiguracija uočen je nedostatak posipane mase u polju 1D te je na temelju toga odlučeno da je u narednim simulacijama potrebno zakrenuti otvor štitnika u desnu stranu. Kod konfiguracija s ravnim lopaticama okrenutim na drugu stranu i konkavnih lopatica uočena je pojava nezadovoljavanja zahtjeva u pogledu ukupne sakupljene mase, koja je izraženija na nižim brzinama vrtnje, a mogući uzrok je nedovoljno vrijeme kako bi se protok ustalio. Rasipanje je u svim provedenim ispitivanjima ispod dopuštene propisane granice.

U narednom poglavlju obrađeni su rezultati za svih osam konfiguracija diska s otvorom štitnika pomaknutim za 10° u desnu stranu.

6.2. Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 10° u desno (D-10°)

U ovom poglavlju bit će obrađeni rezultati svih osam različitih konfiguracija rotirajućeg diska sa štitnikom čije je otvor zakrenut za 10° u desnu stranu, odnosno simetrala kuta otvora štitnika je u tlocrtu zakrenuta za 10° u desno u odnosu na uzdužnu centralnu os posipača.

6.2.1. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (D-10°)

Tablica 21. Rezultati 4 ravne lopatice – radijalno (D-10°)

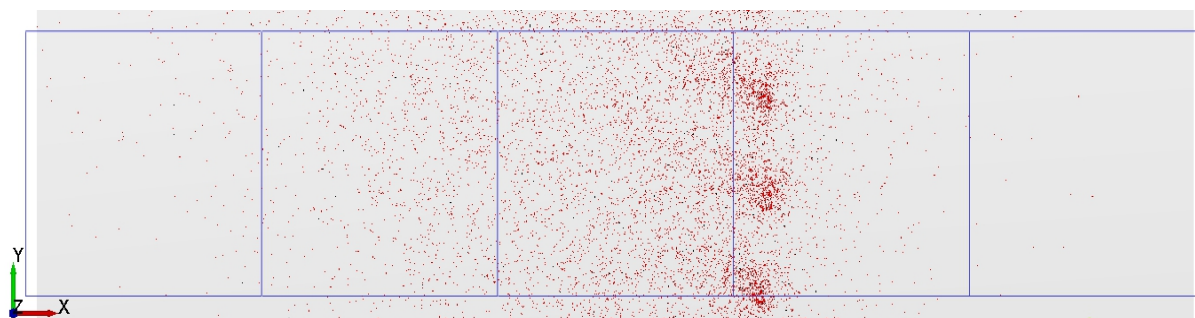
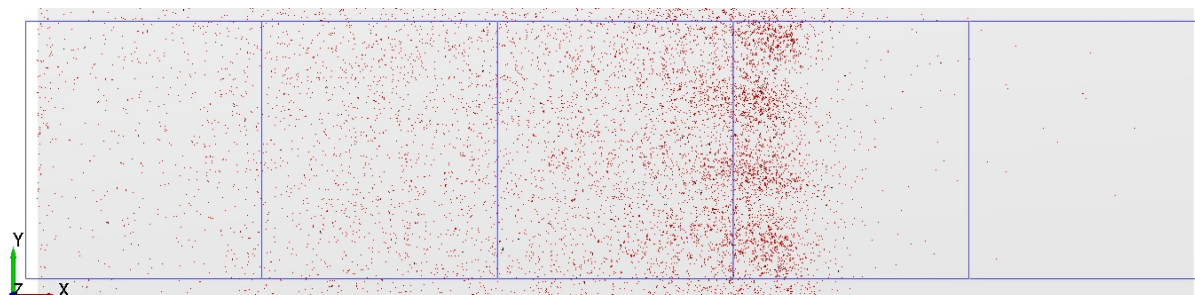
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	57	65	0,994	
2L	1	24	485	665	9,081	12,9 - 25,8
1L	5	117	1575	1972	30,834	15,48 - 25,8
1D	0	98	1232	1458	23,474	12,9-25,8
RD	0	0	4	14	0,106	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	64,489					
Ukupno rasipanje, g	1,1					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

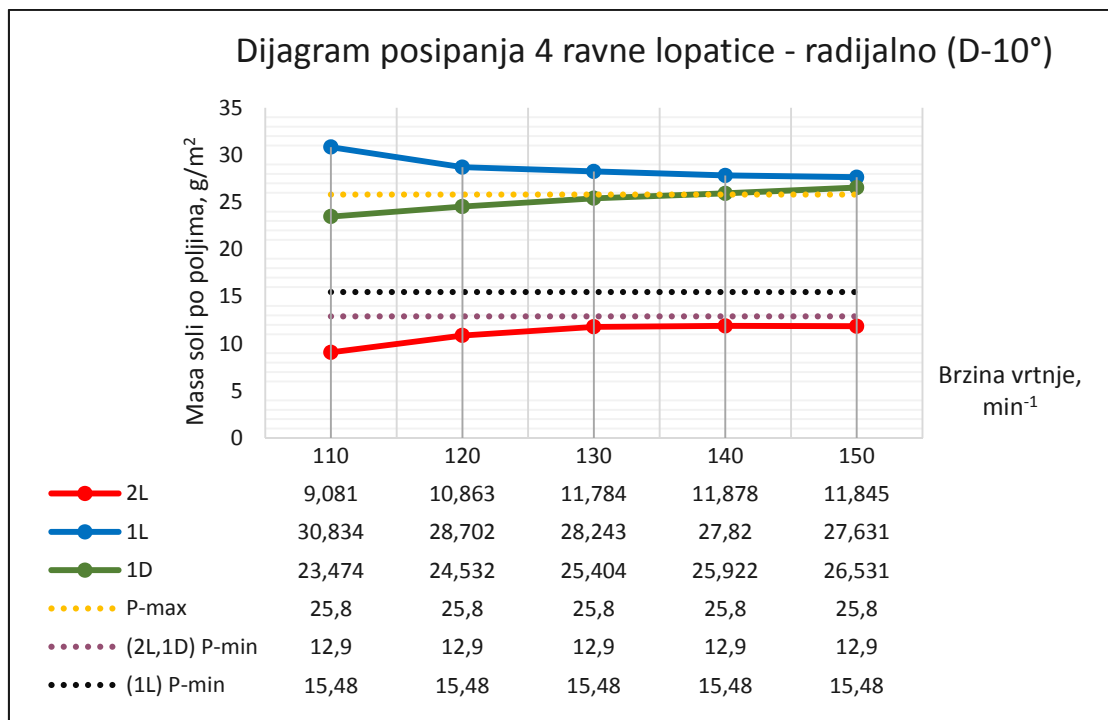
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	91	119	1,778	
2L	0	34	585	766	10,863	12,9 - 25,8
1L	3	102	1506	1883	28,702	15,48 - 25,8
1D	2	106	1261	1477	24,532	12,9-25,8
RD	0	0	3	17	0,112	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	65,987					
Ukupno rasipanje, g	1,89					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	6	135	199	2,522	
2L	0	33	622	894	11,784	12,9 - 25,8
1L	3	100	1441	1929	28,243	15,48 - 25,8
1D	2	113	1323	1467	25,404	12,9-25,8
RD	0	0	5	8	0,085	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	68,038					
Ukupno rasipanje, g	2,607					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

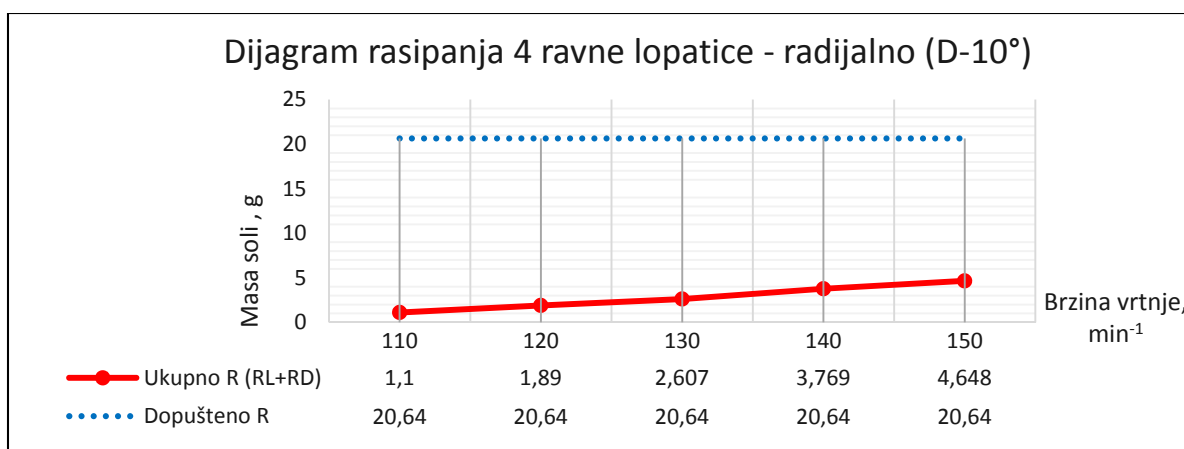
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	200	302	3,674	
2L	1	33	611	904	11,878	12,9 - 25,8
1L	2	97	1435	1915	27,82	15,48 - 25,8
1D	2	115	1339	1521	25,922	12,9-25,8
RD	0	0	5	10	0,085	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	69,379					
Ukupno rasipanje, g	3,6759					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	9	236	393	4,557	
2L	2	32	595	908	11,845	12,9 - 25,8
1L	2	95	1430	1907	27,631	15,48 - 25,8
1D	2	117	1359	1586	26,531	12,9-25,8
RD	0	0	4	11	0,091	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,655					
Ukupno rasipanje, g	4,648					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 57. Rezultati 4 ravne lopatice – radialno (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 58. Rezultati 4 ravne lopatice – radialno (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 59. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - radijalno (D-10°)



Slika 60. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - radijalno (D-10°)

Iz dijagrama na [Slika 59Slika 51] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve u polju 1D i to za brzine vrtnje od 110 min⁻¹, 120 min⁻¹, 130 min⁻¹.

Iz dijagrama na [Slika 60] vidljivo je da ukupno rasipanje raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.2. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D-10°)

Tablica 22. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D-10°)

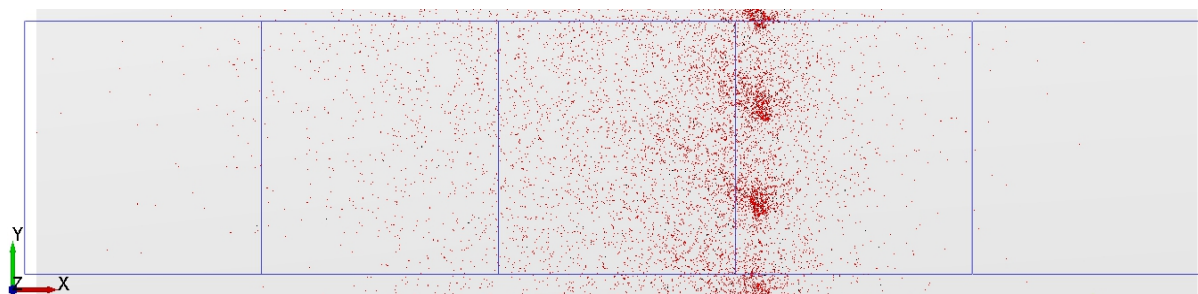
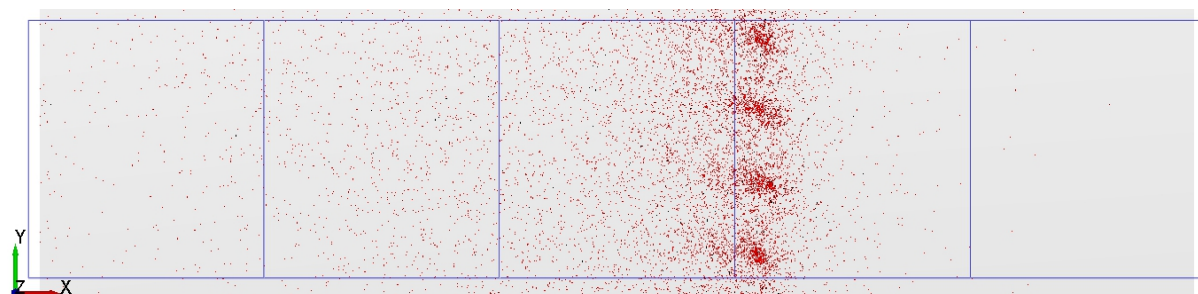
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	1	26	45	0,511	
2L	0	10	314	444	5,566	12,9 - 25,8
1L	2	97	1568	2061	29,747	15,48 - 25,8
1D	5	124	1571	1834	30,472	12,9-25,8
RD	0	0	4	14	0,106	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	66,402					
Ukupno rasipanje, g	0,617					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

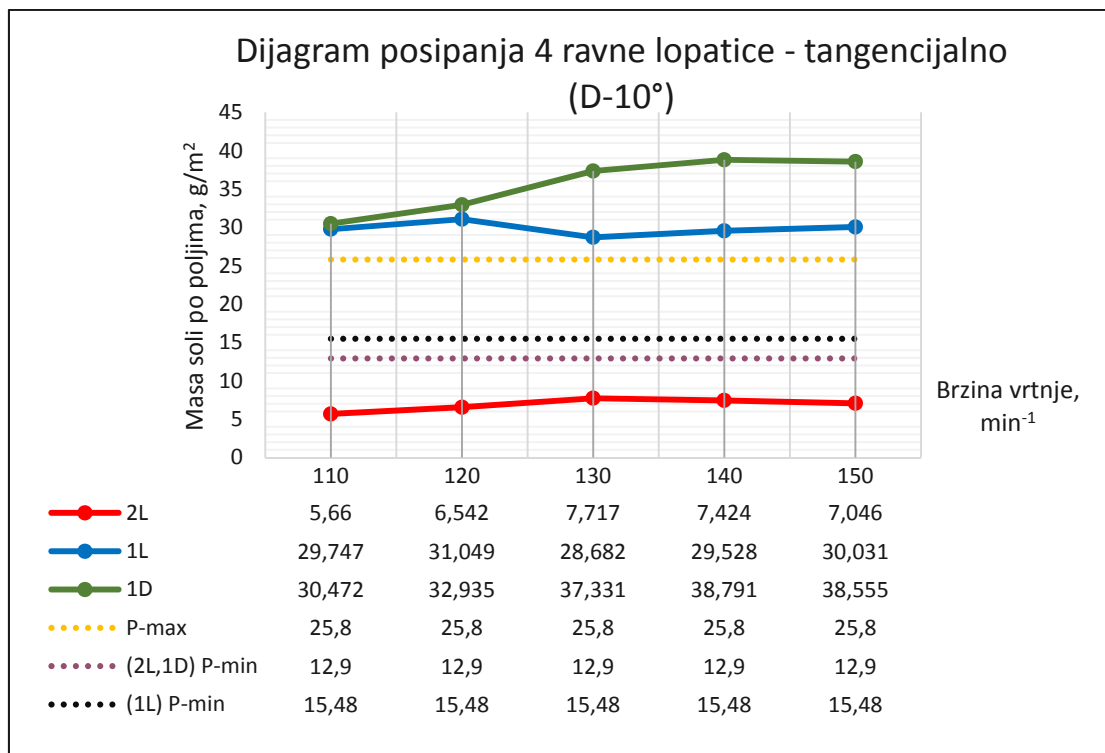
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	47	72	0,939	
2L	0	12	342	568	6,542	12,9 - 25,8
1L	4	117	1587	2022	31,049	15,48 - 25,8
1D	3	126	1741	2057	32,935	12,9-25,8
RD	0	0	6	17	0,139	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	71,604					
Ukupno rasipanje, g	1,078					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	0	53	112	1,037	
2L	1	12	405	661	7,717	12,9 - 25,8
1L	3	94	1510	1955	28,682	15,48 - 25,8
1D	1	140	1987	2405	37,331	12,9-25,8
RD	0	0	3	13	0,092	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	74,859					
Ukupno rasipanje, g	1,129					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

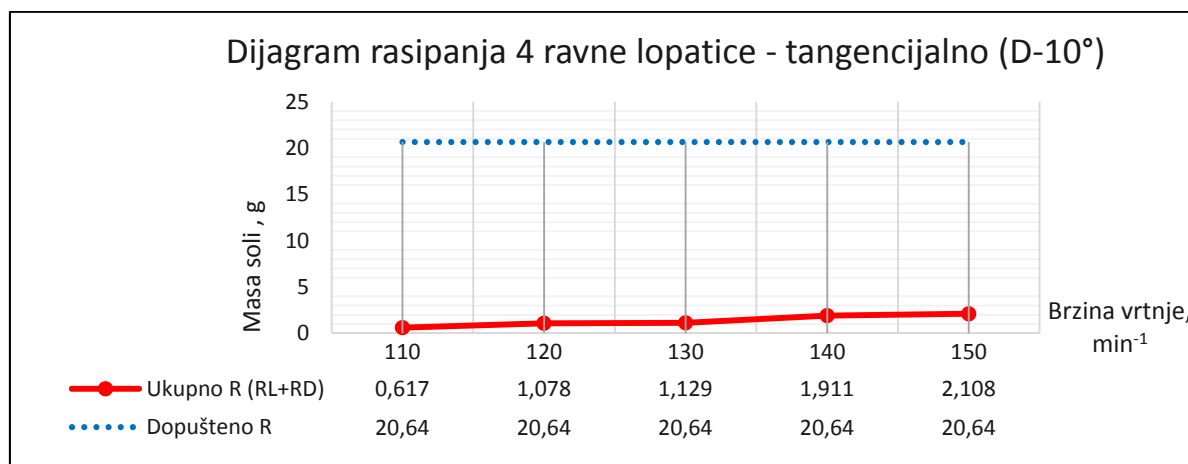
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	86	165	1,755	
2L	0	16	408	584	7,424	12,9 - 25,8
1L	3	108	1462	2065	29,528	15,48 - 25,8
1D	0	135	2119	2540	38,791	12,9-25,8
RD	0	1	6	10	0,156	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	77,654					
Ukupno rasipanje, g	1,911					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	101	196	2,045	
2L	0	16	366	584	7,046	12,9 - 25,8
1L	4	100	1541	2078	30,031	15,48 - 25,8
1D	4	134	2070	2477	38,555	12,9-25,8
RD	0	0	2	9	0,063	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	77,74					
Ukupno rasipanje, g	2,108					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 61. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 62. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 63. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno (D-10°)



Slika 64. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 63Slika 51] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve.

Iz dijagrama [Slika 64] vidljivo je da ukupno rasipanje blago raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.3. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-10°)

Tablica 23. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-10°)

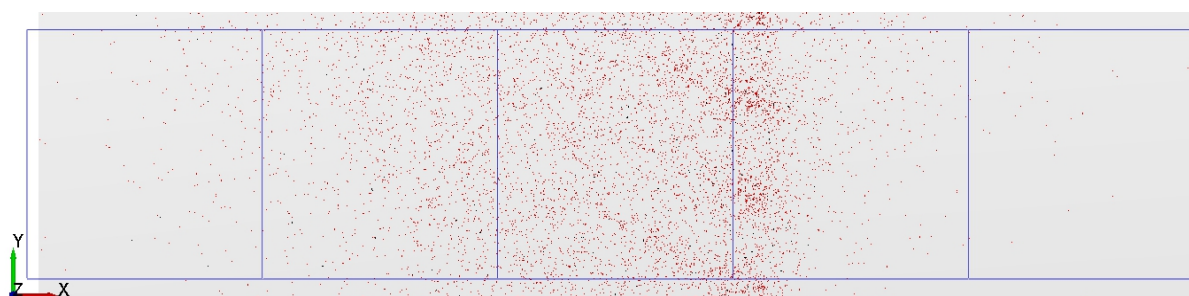
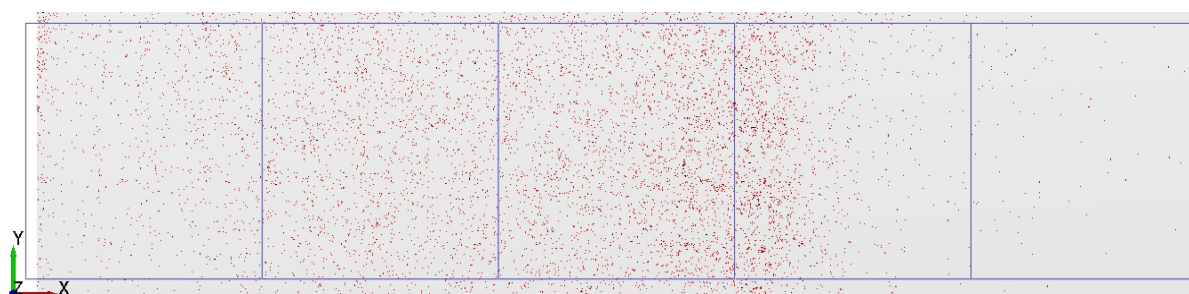
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	61	81	1,318	
2L	0	40	613	756	11,377	12,9 - 25,8
1L	0	93	1347	1671	25,314	15,48 - 25,8
1D	3	61	739	902	14,762	12,9-25,8
RD	0	0	12	24	0,228	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,999					
Ukupno rasipanje, g	1,546					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

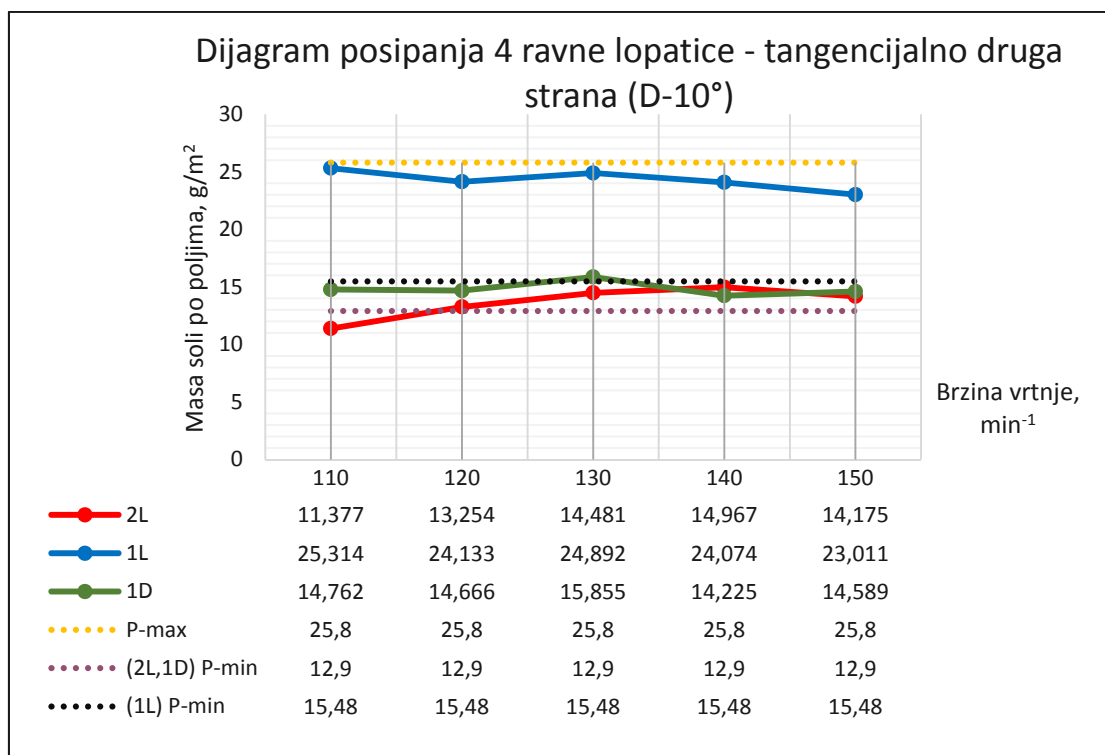
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	8	100	172	2,176	
2L	0	44	714	908	13,254	12,9 - 25,8
1L	1	82	1269	1661	24,133	15,48 - 25,8
1D	3	63	739	862	14,666	12,9-25,8
RD	0	0	17	34	0,323	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	54,552					
Ukupno rasipanje, g	2,499					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	15	178	267	3,717	
2L	0	50	744	1037	14,481	12,9 - 25,8
1L	3	94	1290	1593	24,892	15,48 - 25,8
1D	2	74	799	912	15,885	12,9-25,8
RD	0	0	22	42	0,408	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,383					
Ukupno rasipanje, g	4,125					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

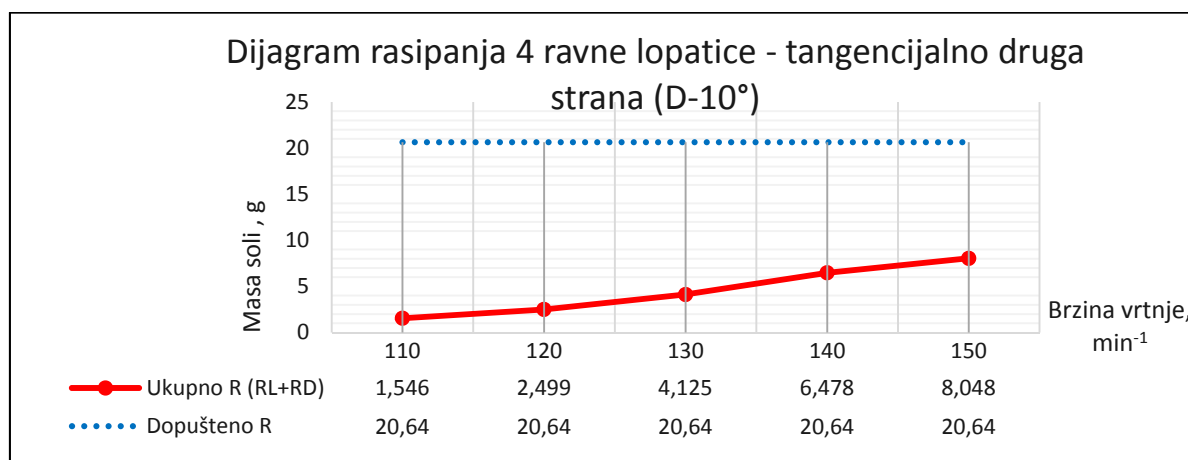
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	24	275	436	5,903	
2L	0	54	796	999	14,967	12,9 - 25,8
1L	4	98	1204	1514	24,074	15,48 - 25,8
1D	0	66	742	823	14,225	12,9-25,8
RD	0	2	29	42	0,575	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,744					
Ukupno rasipanje, g	6,478					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	21	382	582	7,44	
2L	0	37	789	1030	14,175	12,9 - 25,8
1L	3	91	1162	1485	23,044	15,48 - 25,8
1D	3	71	697	839	14,589	12,9-25,8
RD	0	0	37	55	0,608	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,856					
Ukupno rasipanje, g	8,048					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 65. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 66. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 67. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno druga strana (D-10°)



Slika 68. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice - tangencijalno druga strana (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 67Slika 51] vidljivo je da za brzine vrtnje od 130 min⁻¹, 140 min⁻¹ i 150 min⁻¹ posipanje zadovoljava propisane zahtjeve. Za brzinu vrtnje od 120 min⁻¹ posipanje zadovoljava zahtjeve u vidu mase po poljima, ali ne zadovoljava zahtjeve ukupne sakupljene mase.

Iz dijagrama [Slika 68] vidljivo je da ukupno rasipanje raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.4. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-10°)

Tablica 24. Rezultati 4 konkavne lopatice – (D-10°)

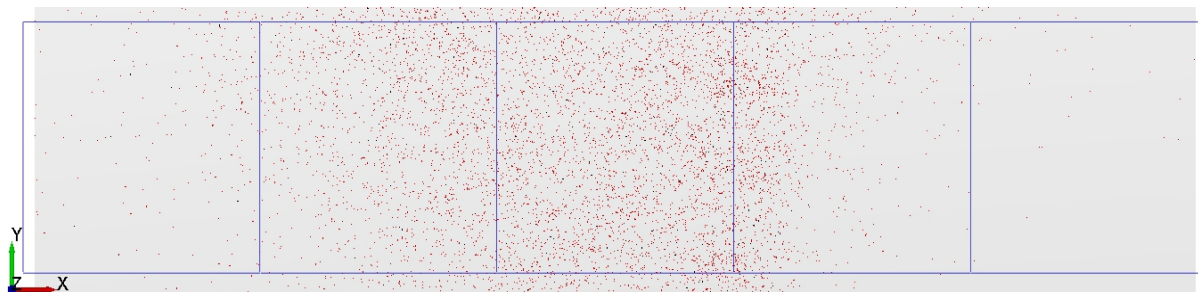
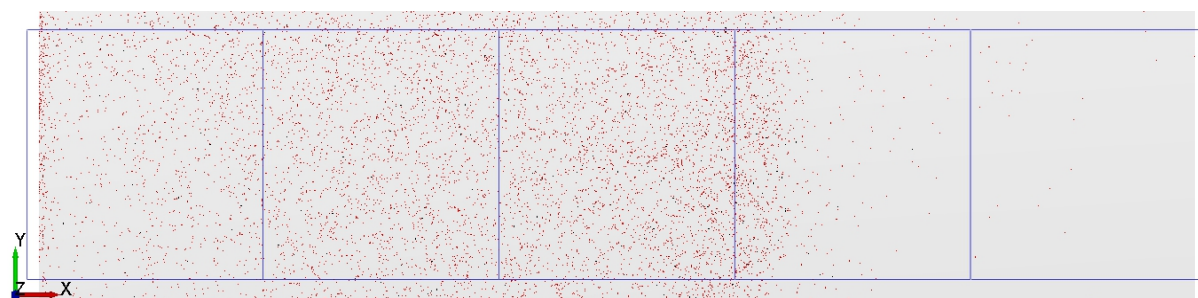
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	6	87	117	1,68	
2L	1	46	730	882	13,515	12,9 - 25,8
1L	3	126	1322	1556	26,659	15,48 - 25,8
1D	1	52	508	556	10,199	12,9-25,8
RD	0	1	7	25	0,24	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,293					
Ukupno rasipanje, g	1,92					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

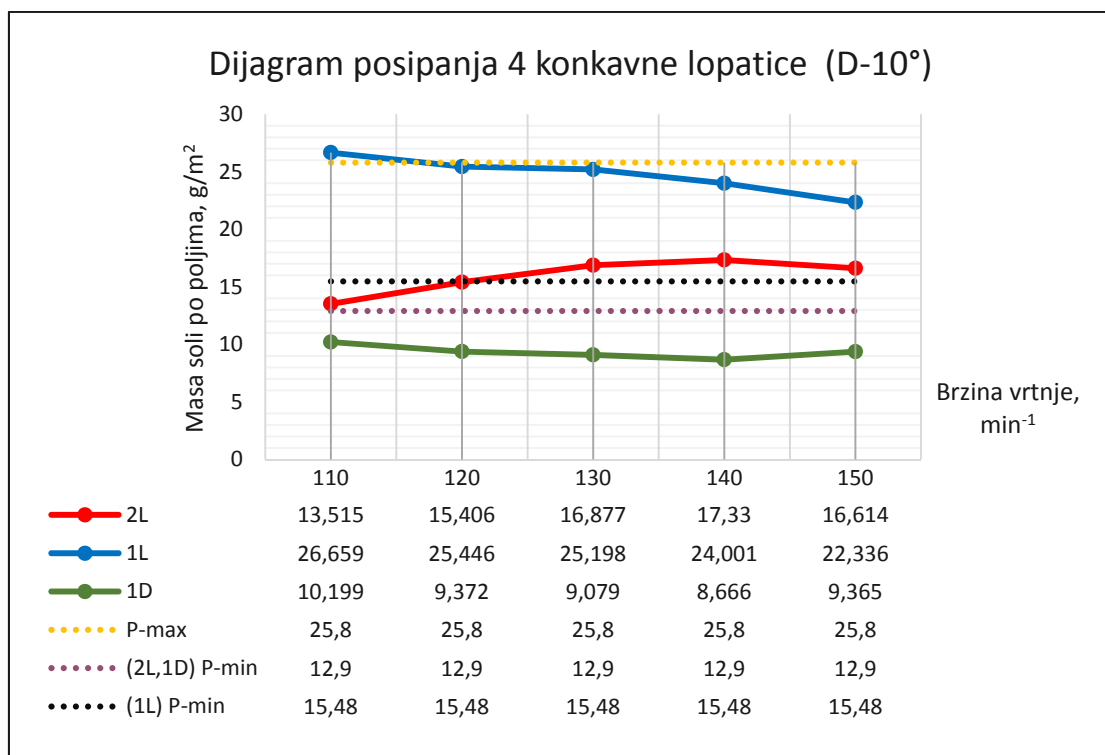
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	13	197	215	3,524	
2L	1	38	878	1077	15,406	12,9 - 25,8
1L	1	112	1331	1500	25,446	15,48 - 25,8
1D	1	51	428	545	9,372	12,9-25,8
RD	0	0	13	24	0,237	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	53,985					
Ukupno rasipanje, g	3,761					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	21	299	376	5,663	
2L	2	55	914	1101	16,877	12,9 - 25,8
1L	4	108	1330	1408	25,198	15,48 - 25,8
1D	0	64	394	441	9,079	12,9-25,8
RD	0	0	17	15	0,228	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,045					
Ukupno rasipanje, g	5,891					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

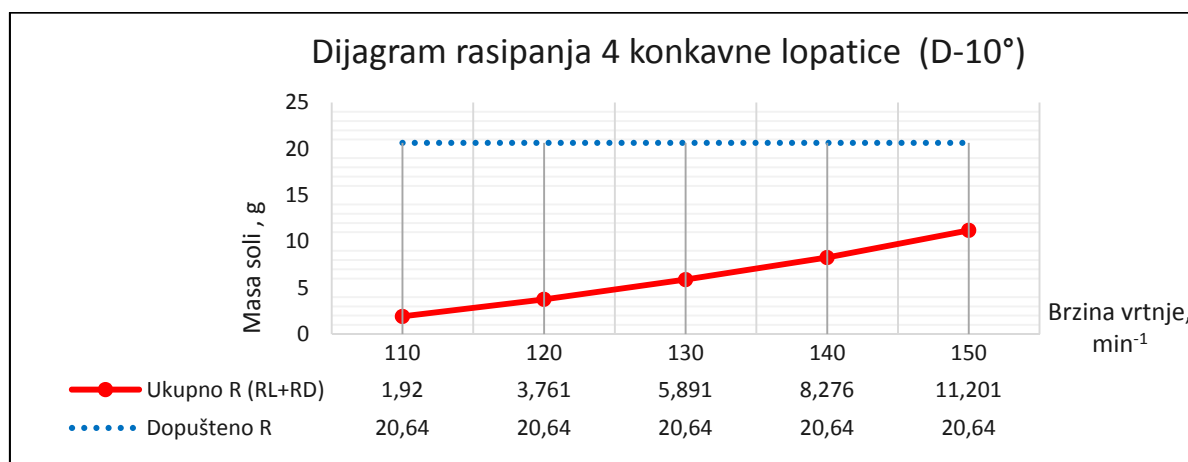
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	28	409	559	8,075	
2L	0	60	930	1168	17,33	12,9 - 25,8
1L	4	105	1231	1378	24,001	15,48 - 25,8
1D	1	51	399	456	8,666	12,9-25,8
RD	0	0	14	15	0,201	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	58,273					
Ukupno rasipanje, g	8,276					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	34	596	775	11,007	
2L	0	45	926	1188	16,614	12,9 - 25,8
1L	0	94	1182	1362	22,336	15,48 - 25,8
1D	4	57	406	435	9,365	12,9-25,8
RD	0	0	11	19	0,194	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,516					
Ukupno rasipanje, g	11,201					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 69. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 70. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 71. Dijagram posipanja 4 konkavne lopatice (D-10°)



Slika 72. Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 71Slika 51] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Za brzinu vrtnje od 110 min⁻¹, 120 min⁻¹ i 130 min⁻¹ posipanje ne zadovoljava zahtjeve ukupne sakupljene mase dok je u svim ispitivanjima masa u polju 1D ispod minimalne propisane, a u polju 2L za sve brzine vrtnje unutar propisanih zahtjeva.

Iz dijagrama [Slika 72] vidljivo je da ukupno rasipanje naglo raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.5. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno ($D-10^\circ$)Tablica 25. Rezultati 6 ravnih lopatica – radijalno ($D-10^\circ$)

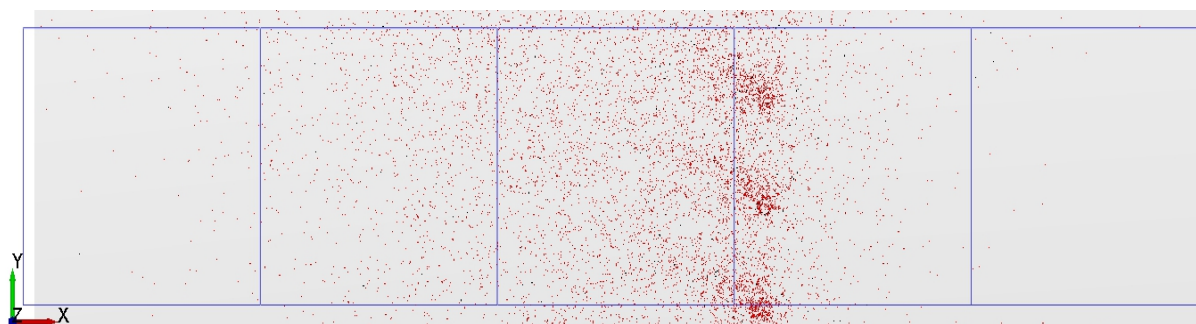
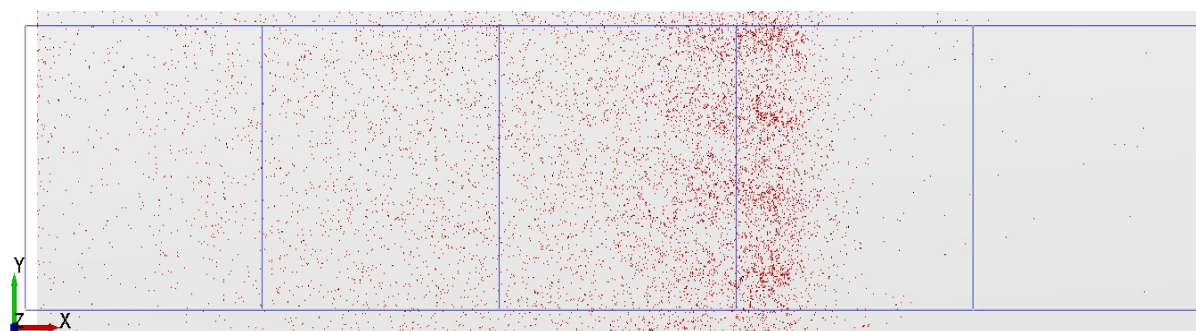
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	3	42	66	0,864	
2L	0	22	489	649	8,79	12,9 - 25,8
1L	4	110	1525	1941	29,722	15,48 - 25,8
1D	0	104	1202	1386	23,156	12,9-25,8
RD	0	3	6	12	0,27	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	62,802					
Ukupno rasipanje, g	1,134					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

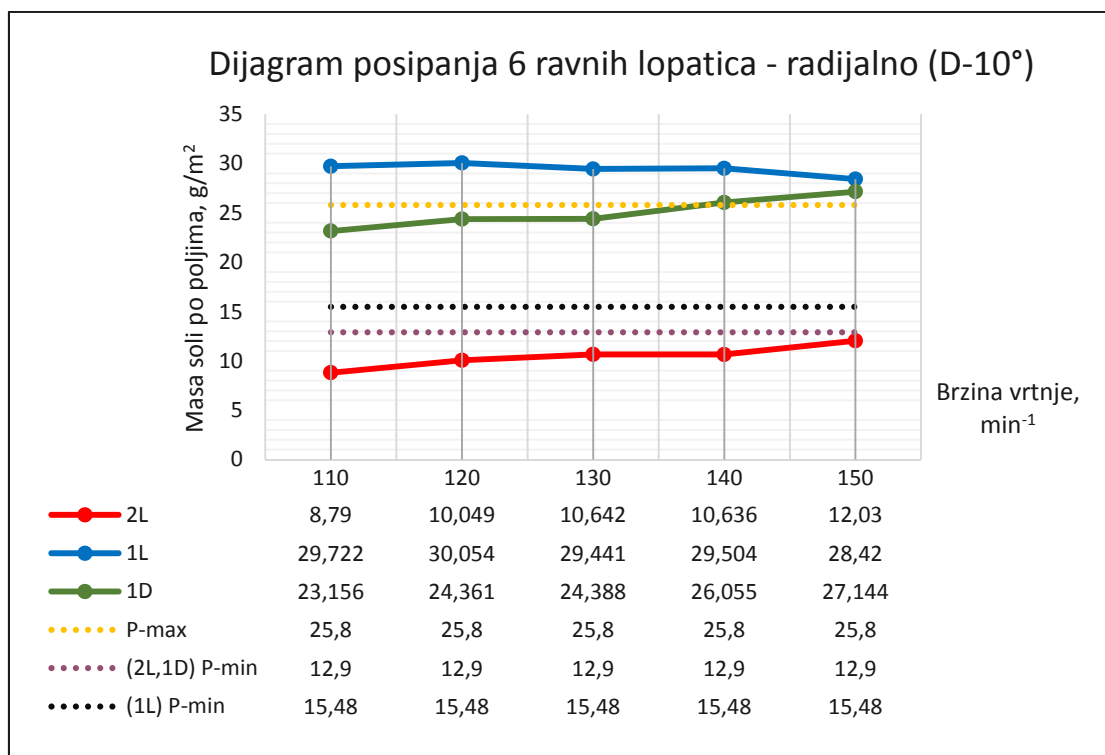
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	5	95	121	1,72	
2L	2	22	551	732	10,049	12,9 - 25,8
1L	0	115	1591	1951	30,051	15,48 - 25,8
1D	2	112	1229	1438	24,118	12,9-25,8
RD	0	0	7	9	0,108	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	66,05					
Ukupno rasipanje, g	2,479					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	8	108	201	2,393	
2L	0	27	567	827	10,642	12,9 - 25,8
1L	3	106	1525	1955	29,441	15,48 - 25,8
1D	1	107	1269	1452	24,388	12,9-25,8
RD	0	0	4	10	0,086	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	66,95					
Ukupno rasipanje, g	2,479					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

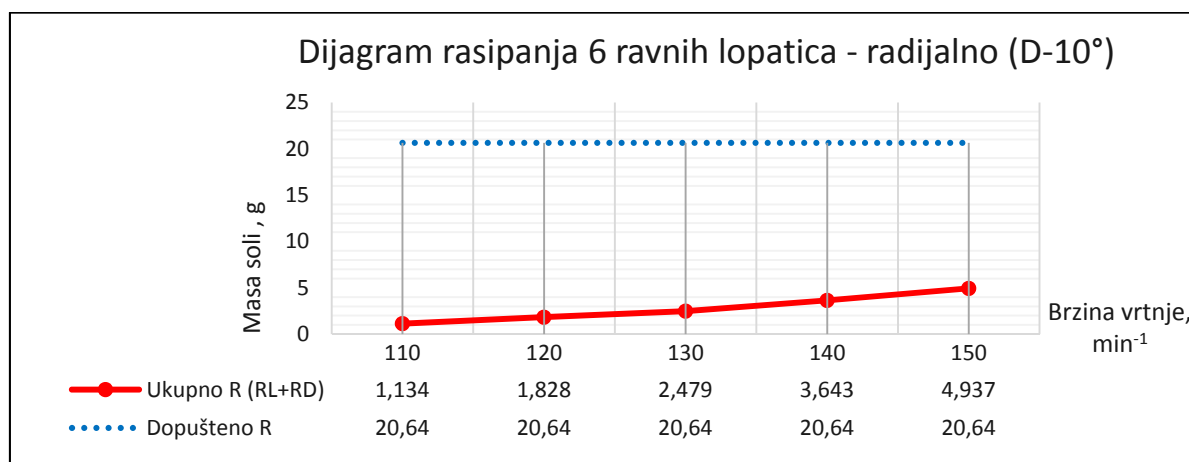
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	11	163	290	3,489	
2L	0	25	584	816	10,636	12,9 - 25,8
1L	5	114	1479	1910	29,504	15,48 - 25,8
1D	1	124	1291	1569	26,055	12,9-25,8
RD	0	0	11	11	0,154	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	69,84					
Ukupno rasipanje, g	3,643					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	252	399	4,783	
2L	2	32	655	837	12,03	12,9 - 25,8
1L	2	93	1482	1992	28,42	15,48 - 25,8
1D	2	133	1348	1562	27,144	12,9-25,8
RD	0	0	11	11	0,154	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	72,531					
Ukupno rasipanje, g	4,937					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 73. Rezultati 6 ravnih lopatica – radialno (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 74. Rezultati 6 ravnih lopatica – radialno (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 75. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - radijalno (D-10°)



Slika 76. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica - radijalno (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 75] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. Posipanje zadovoljava zahtjeve samo u polju 1D i to za brzine vrtnje od 110 min⁻¹, 120 min⁻¹, 130 min⁻¹.

Iz dijagrama [Slika 76] vidljivo je da ukupno rasipanje blago raste s povećanjem brzine vrtnje diska, a vrijednosti rasipanja su ispod dopštene propisane granice.

6.2.6. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D-10°)

Tablica 26. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D-10°)

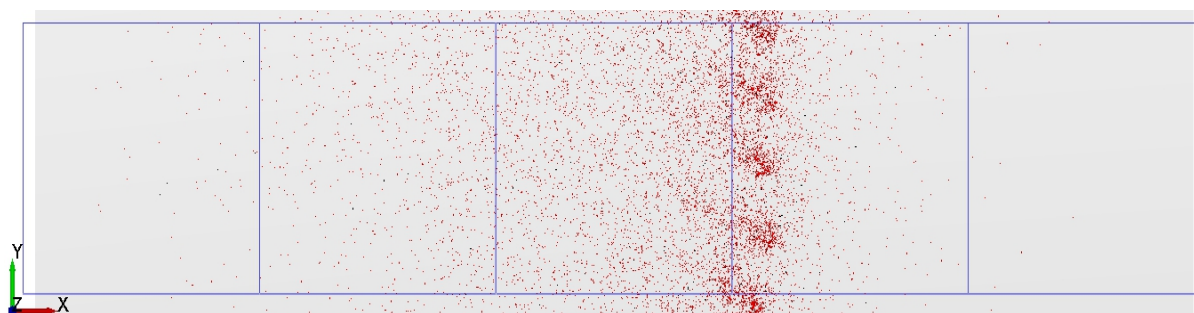
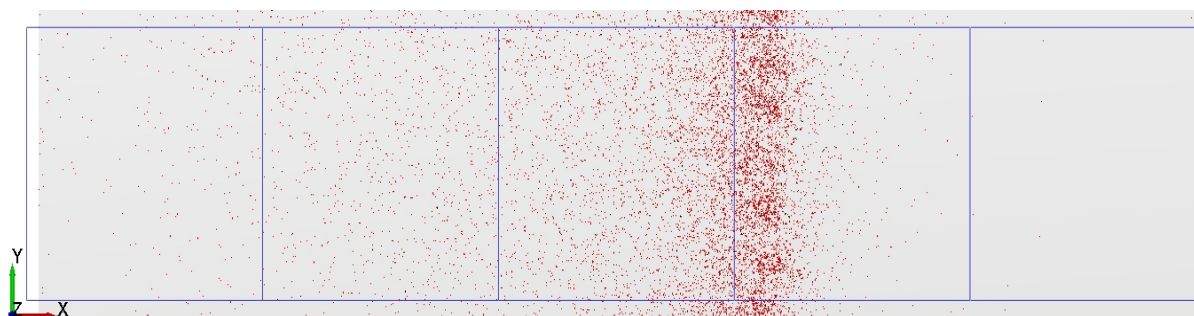
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	5	30	38	0,72	
2L	0	10	352	590	6,638	12,9 - 25,8
1L	2	108	1616	2049	30,691	15,48 - 25,8
1D	4	133	1691	1979	32,602	12,9-25,8
RD	0	0	3	7	0,062	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	70,713					
Ukupno rasipanje, g	0,782					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

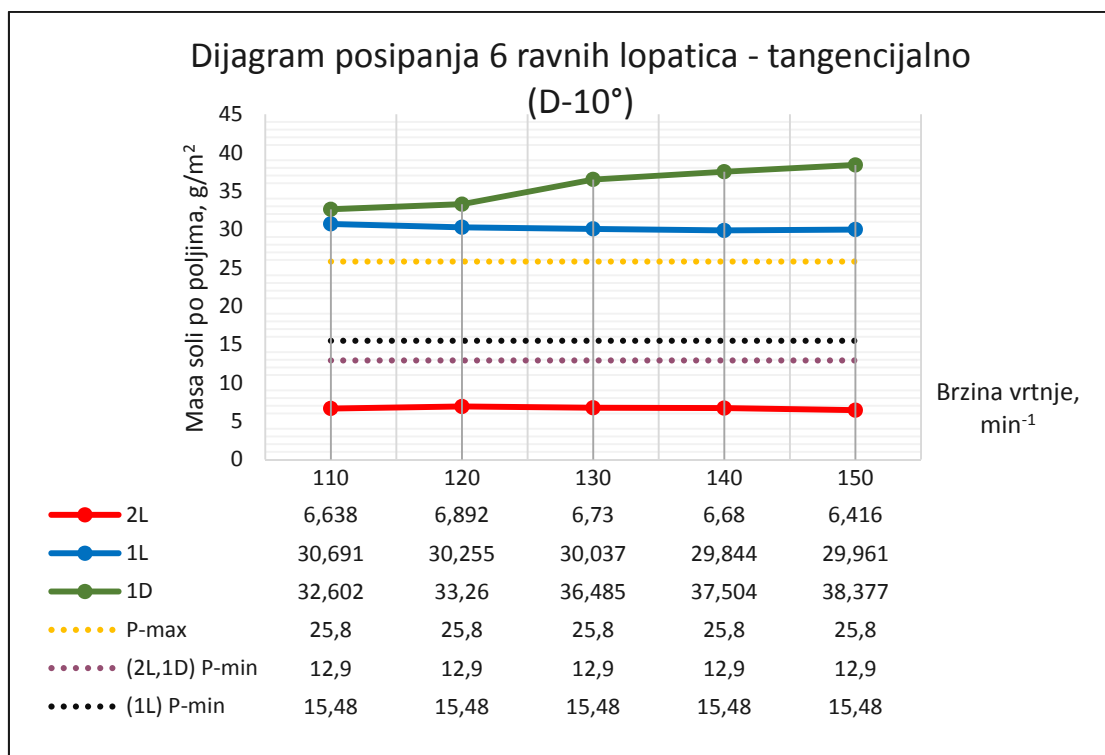
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	1	43	60	0,739	
2L	0	11	380	580	6,892	12,9 - 25,8
1L	3	97	1566	2137	30,252	15,48 - 25,8
1D	2	134	1769	2017	33,26	12,9-25,8
RD	0	0	6	9	0,099	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	71,242					
Ukupno rasipanje, g	0,838					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	0	52	100	0,968	
2L	1	8	354	597	6,73	12,9 - 25,8
1L	1	105	1551	2095	30,037	15,48 - 25,8
1D	2	149	1914	2245	36,485	12,9-25,8
RD	0	0	5	6	0,075	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	74,295					
Ukupno rasipanje, g	1,043					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

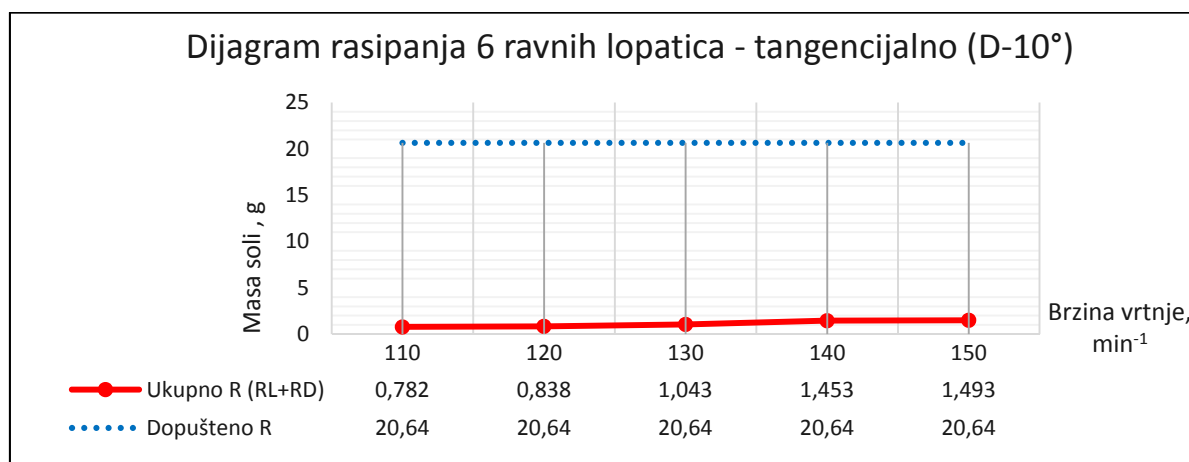
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	0	66	156	1,374	
2L	0	8	356	612	6,68	12,9 - 25,8
1L	2	100	1557	2069	29,844	15,48 - 25,8
1D	1	151	1964	2367	37,506	12,9-25,8
RD	0	0	6	5	0,079	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	75,483					
Ukupno rasipanje, g	1,453					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	0	65	174	1,455	
2L	0	9	337	583	6,416	12,9 - 25,8
1L	5	99	1517	2089	29,961	15,48 - 25,8
1D	3	151	1999	2421	38,377	12,9-25,8
RD	0	0	2	4	0,038	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	76,247					
Ukupno rasipanje, g	1,493					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 77. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 78. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 79. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno (D-10°)



Slika 80. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 79] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve.

Iz dijagrama [Slika 80] vidljivo je da ukupno rasipanje blago raste s povećanjem brzine vrtnje diska, a sve vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.7. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°)

Tablica 27. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°)

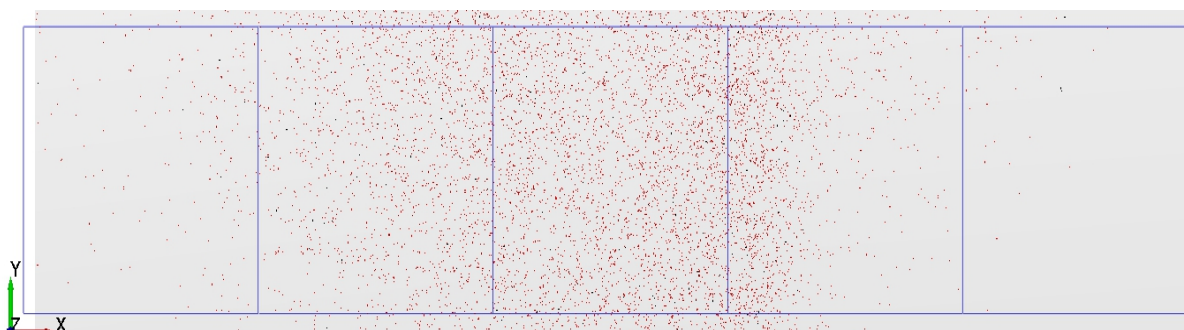
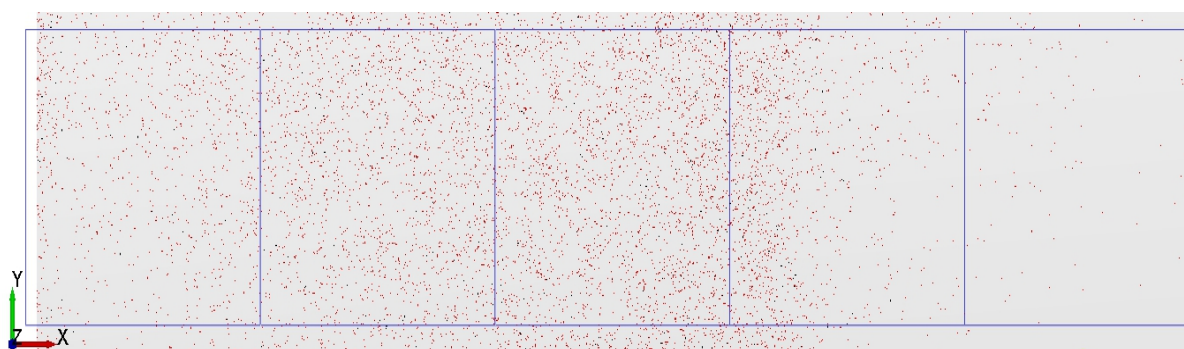
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	5	101	90	1,619	
2L	0	46	641	870	12,511	12,9 - 25,8
1L	2	89	1345	1508	24,559	15,48 - 25,8
1D	0	52	634	788	12,35	12,9-25,8
RD	0	2	12	25	0,337	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	51,376					
Ukupno rasipanje, g	1,956					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

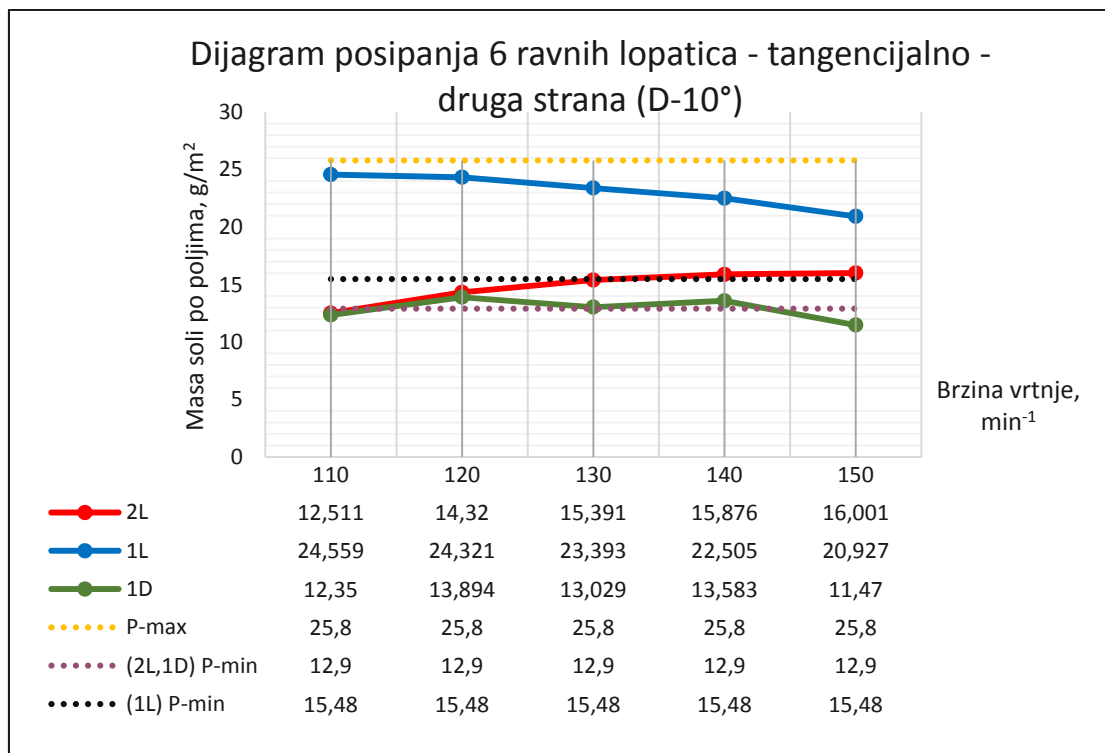
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	117	163	2,388	
2L	0	50	750	994	14,32	12,9 - 25,8
1L	2	101	1257	1494	24,321	15,48 - 25,8
1D	5	54	689	834	13,894	12,9-25,8
RD	0	1	24	38	0,458	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	55,381					
Ukupno rasipanje, g	2,846					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	22	233	319	4,836	
2L	1	55	797	1043	15,391	12,9 - 25,8
1L	1	94	1253	1417	23,393	15,48 - 25,8
1D	3	62	634	734	13,029	12,9-25,8
RD	0	0	30	37	0,455	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,104					
Ukupno rasipanje, g	5,291					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

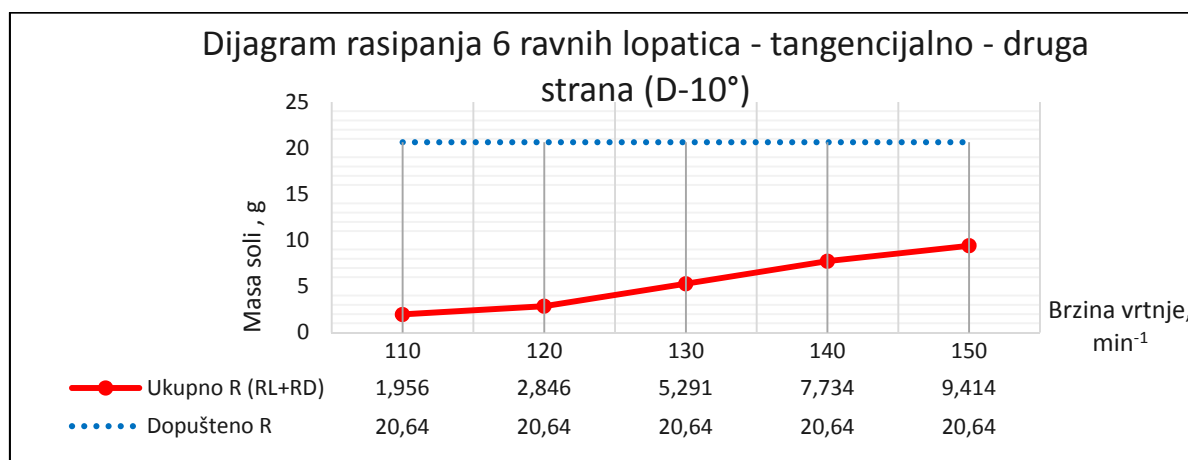
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	25	351	453	6,867	
2L	0	56	836	1088	15,876	12,9 - 25,8
1L	1	106	1120	1354	22,505	15,48 - 25,8
1D	1	58	701	823	13,583	12,9-25,8
RD	1	1	43	57	0,867	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,698					
Ukupno rasipanje, g	7,734					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	32	430	596	8,657	
2L	1	68	813	1001	16,001	12,9 - 25,8
1L	3	86	1079	1263	20,927	15,48 - 25,8
1D	2	56	558	650	11,47	12,9-25,8
RD	0	1	35	78	0,757	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,812					
Ukupno rasipanje, g	9,414					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 81. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 82. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 83. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica - tangencijalno druga strana (D-10°)



Slika 84. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatice - tangencijalno druga strana (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 83] vidljivo je da za brzine vrtnje od 140 min⁻¹ posipanje zadovoljava sve propisane zahtjeve. Za brzine vrtnje od 120 min⁻¹, 130 min⁻¹ posipanje zadovoljava zahtjeve u vidu propisane mase po poljima, ali ne zadovoljavaju u vidu ukupne sakupljene mase.

Iz dijagrama [Slika 84] vidljivo je da ukupno rasipanje raste s povećanjem brzine vrtnje diska, a sve vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.8. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D-10°)

Tablica 28. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D-10°)

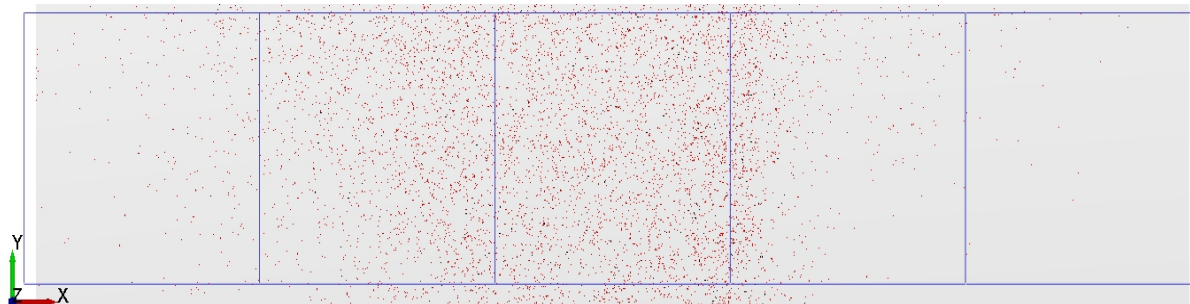
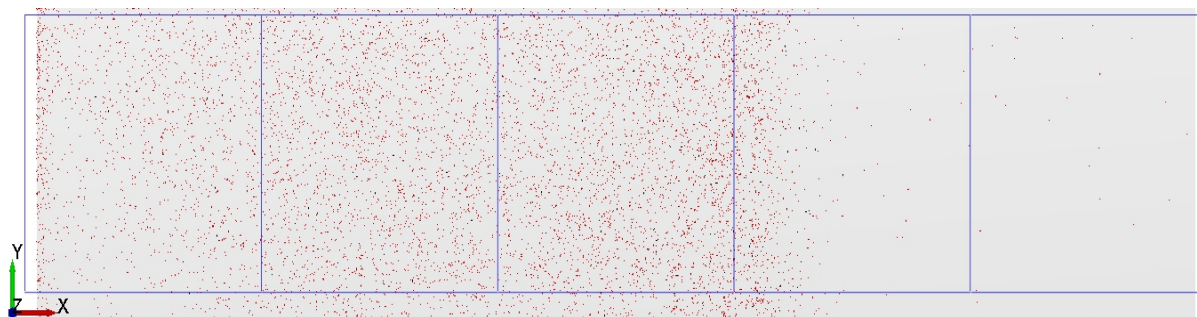
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	110	149	2,099	
2L	1	63	861	996	16,148	12,9 - 25,8
1L	2	117	1303	1439	25,292	15,48 - 25,8
1D	2	47	406	475	8,759	12,9-25,8
RD	0	0	9	24	0,201	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,499					
Ukupno rasipanje, g	2,3					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

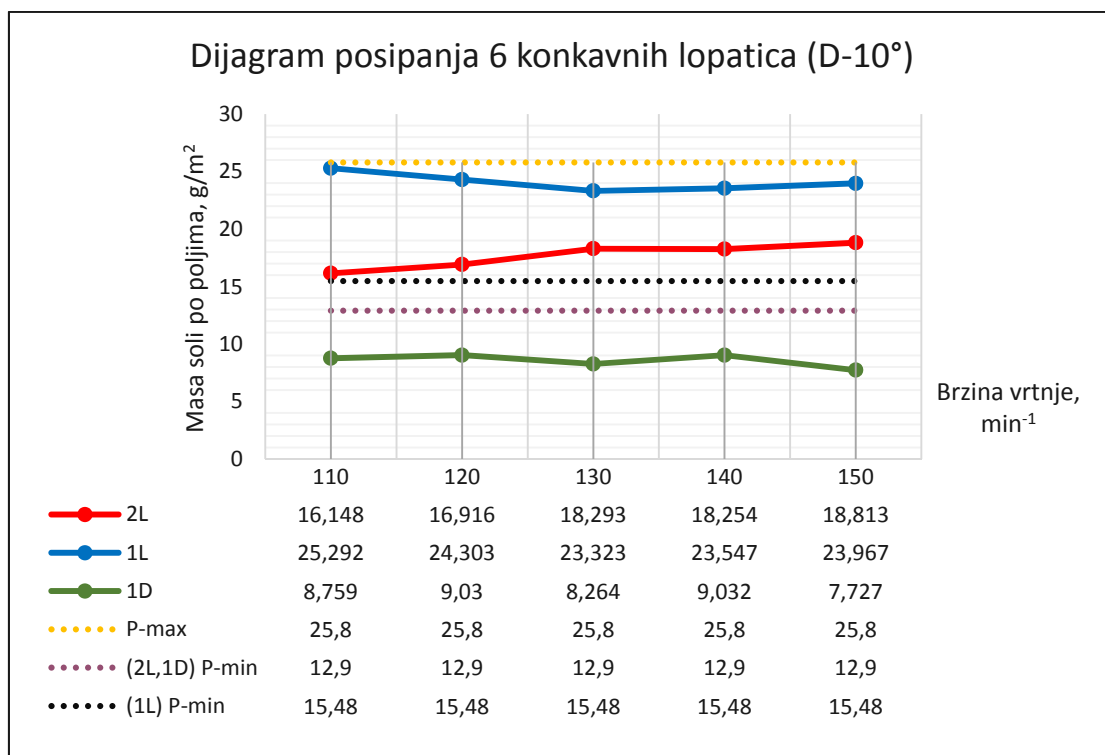
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	14	214	270	4,147	
2L	1	45	957	1164	16,916	12,9 - 25,8
1L	3	102	1275	1419	24,303	15,48 - 25,8
1D	2	56	393	459	9,03	12,9-25,8
RD	0	0	13	16	0,197	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	54,593					
Ukupno rasipanje, g	4,344					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	2	23	295	397	6,122	
2L	3	55	966	1262	18,293	12,9 - 25,8
1L	3	97	1220	1374	23,323	15,48 - 25,8
1D	2	49	370	420	8,264	12,9-25,8
RD	0	0	8	9	0,117	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,119					
Ukupno rasipanje, g	6,239					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

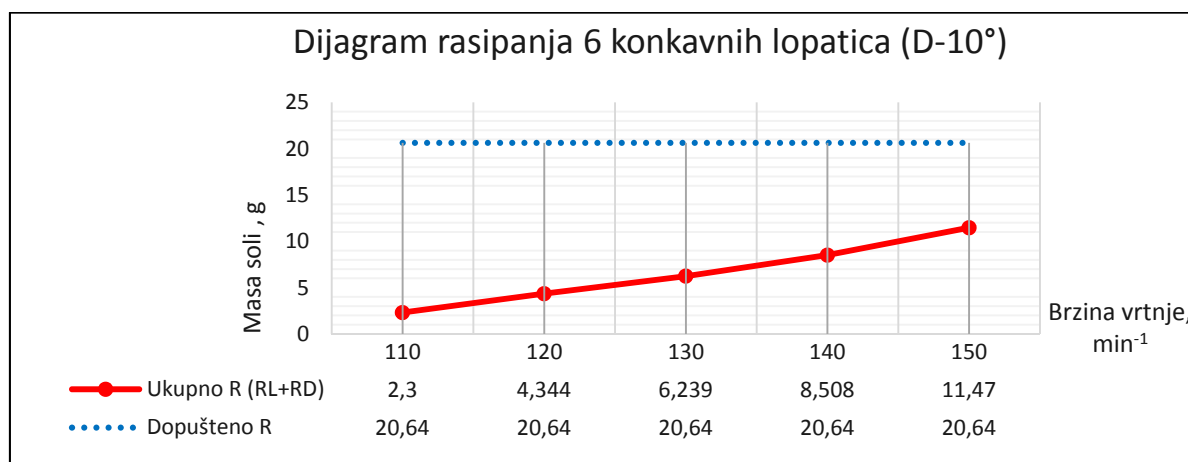
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	25	452	597	8,353	
2L	0	60	1016	1198	18,254	12,9 - 25,8
1L	5	104	1186	1350	23,547	15,48 - 25,8
1D	2	54	412	446	9,032	12,9-25,8
RD	0	0	10	13	0,155	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,341					
Ukupno rasipanje, g	8,508					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	25	632	827	11,266	
2L	1	68	1031	1171	18,813	12,9 - 25,8
1L	4	117	1169	1358	23,967	15,48 - 25,8
1D	1	54	324	372	7,727	12,9-25,8
RD	0	0	16	12	0,204	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	61,977					
Ukupno rasipanje, g	11,47					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 85. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D-10°) – 110 min⁻¹Slika 86. Rezultati 6 konkavnih lopatica – (D-10°) – 150 min⁻¹



Slika 87. Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica (D-10°)



Slika 88. Dijagram rasipanja 6 konkavnih lopatica (D-10°)

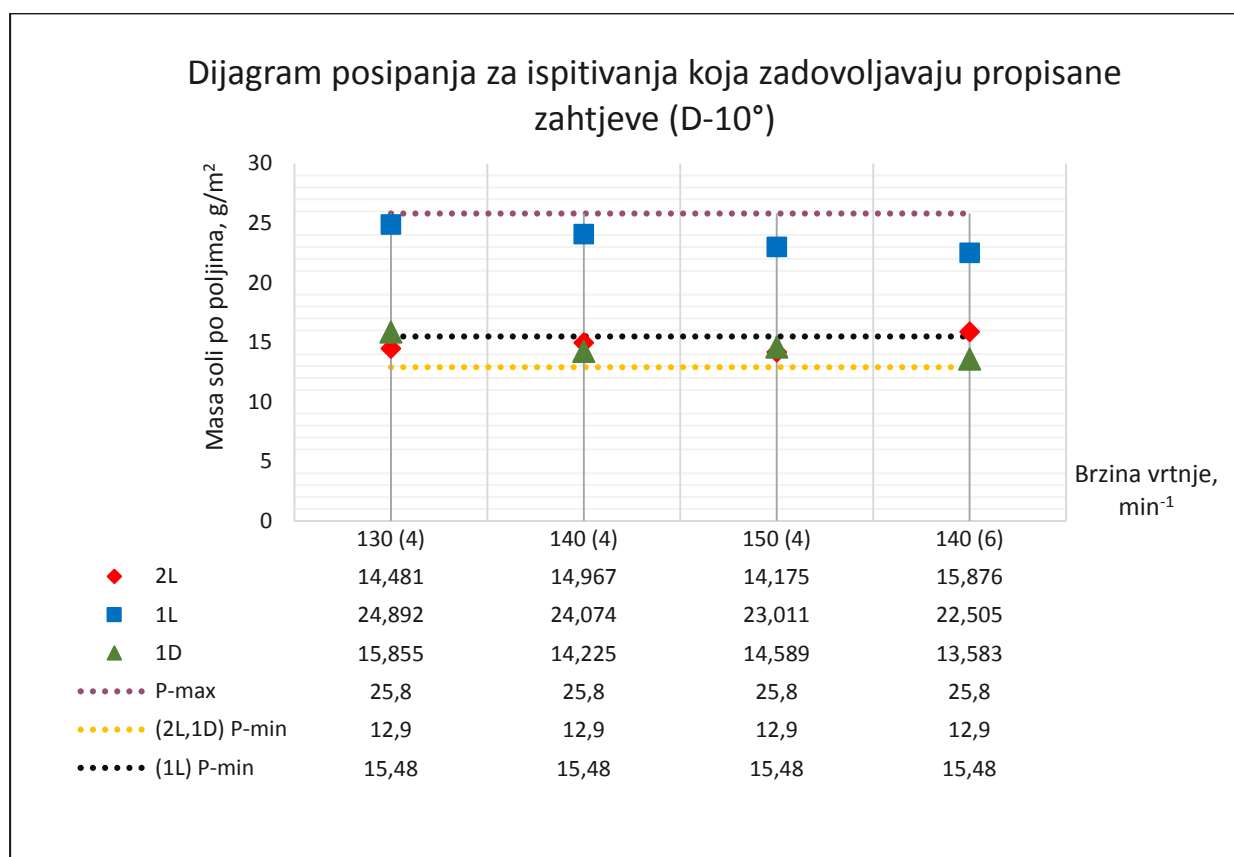
Iz dijagrama [Slika 87] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. U poljima 2L i 1L za sve brzine vrtnje posipanje zadovoljava zahtjeve u vidu propisane mase po poljima, dok za polje 1D ne zadovoljava ni za jednu brzinu.

Iz dijagrama [Slika 88] vidljivo je da ukupno rasipanje značajno raste s povećanjem brzine vrtnje diska, a sve vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.2.9. Analiza i zaključak rezultata sa zakrenutim otvorom štitnika za 10° u desno – (D-10°)

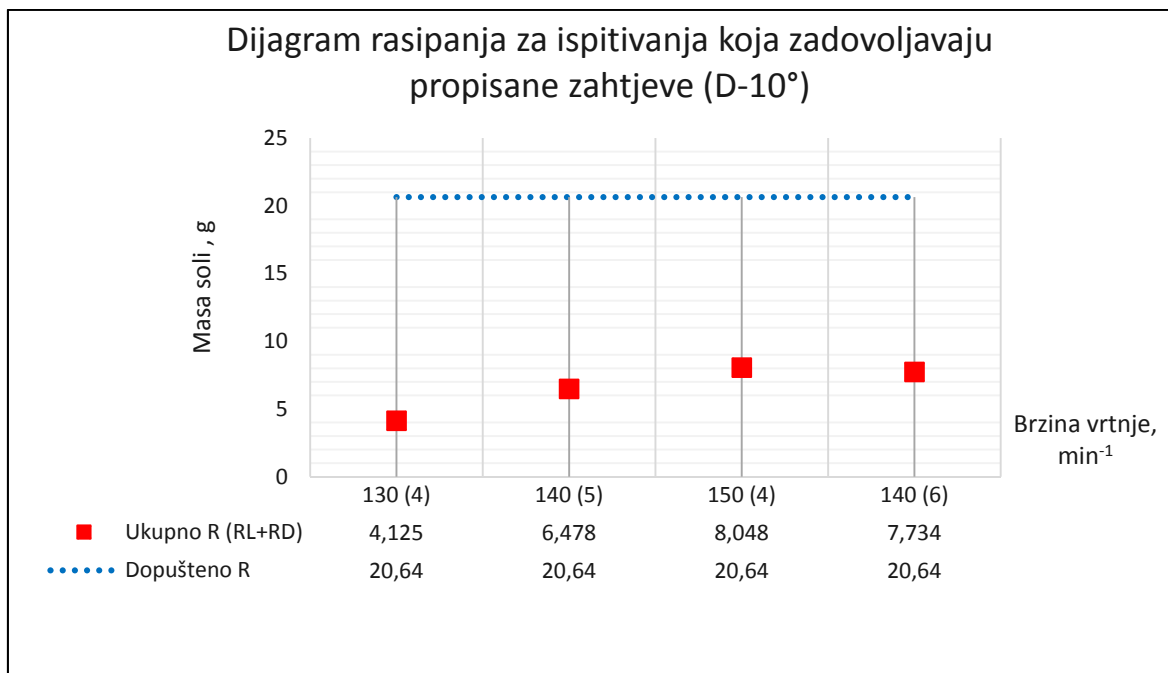
Analizom rezultata vezanih za 8 konfiguracija posipnog diska sa zakrenutim otvorom štitnika za 10° u desno, utvrđeno je da samo konfiguracija s ravnim lopaticama postavljenih tangencijalno okrenutih u drugu stranu zadovoljava propisane zahtjeve. Zahtjeve zadovoljavaju sljedeća ispitivanja:

- 4 lopatice – tangencijalno druga strana (130 min^{-1} , 140 min^{-1} , 150 min^{-1})
- 6 lopatica – tangencijalno druga strana (140 min^{-1}).



Slika 89. Dijagram posipanja za ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 89] vidljivo je da su razlike između posipanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve relativno male. Također vidljivo je da su vrijednosti u polju 1L blizu gornje granice (P-max), a u poljima 2L i 1D blizu donje granice ((2L, 1D) P-min) te bi bilo poželjno da se vrijednosti nalaze bliže sredini tolerancijskog polja. Za brzinu vrtnje od 140 min^{-1} vidljivo je da su vrijednosti u poljima 2L i 1L za 6 lopatica bliže sredini tolerancijskog polja, dok je u polju 1D to slučaj za disk s 4 lopatice.



Slika 90. Dijagram rasipanja za ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve (D-10°)

Iz dijagrama [Slika 90] vidljivo je da razlike između rasipanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve nisu velike, a vidljiv je i trend da rastom brzine vrtnje vrijednosti rasipanja rastu. Za brzinu vrtnje od 140 min⁻¹ rasipanje je veće za disk s 6 lopatica.

U narednom poglavlju obrađeni su rezultati za svih osam konfiguracija diska s otvorom štitnika pomaknutim za 20° u desnu stranu.

6.3. Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 20° u desno (D-20°)

U ovom poglavlju bit će obrađeni rezultati četiri odabrane različite konfiguracija rotirajućeg diska sa štitnikom čije je otvor zakrenut za 20° u desnu stranu, odnosno simetrala kuta otvora štitnika je u tlocrtu zakrenuta za 20° u desno u odnosu na uzdužnu centralnu os posipača. Odabrane su konfiguracije diska s najpravnomjernije posipanje u ranijim ispitivanjima.

6.3.1. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°)

Tablica 29. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°)

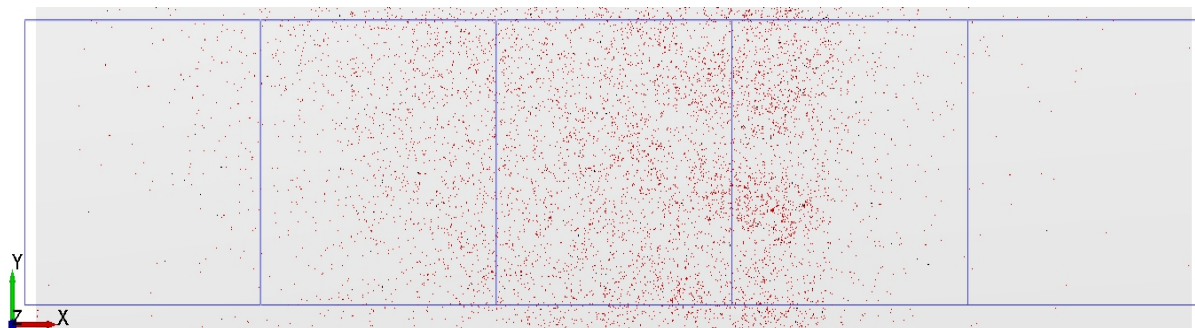
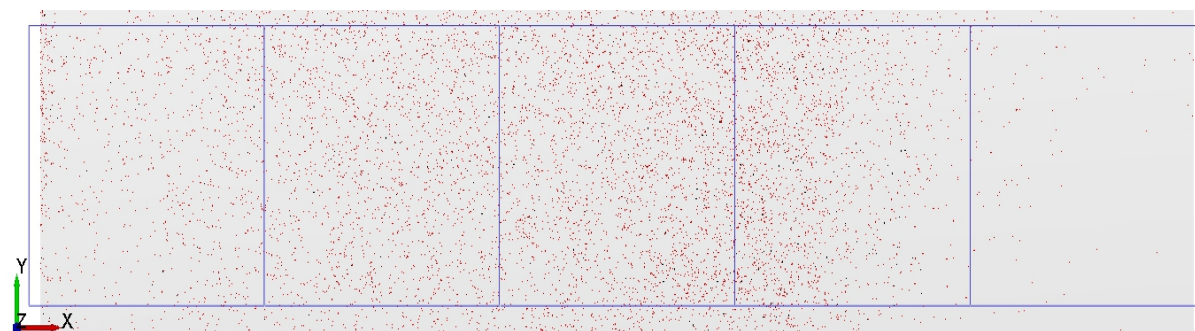
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	70	84	1,57	
2L	1	37	578	771	11,124	12,9 - 25,8
1L	2	78	1275	1569	23,662	15,48 - 25,8
1D	3	81	848	1018	17,363	12,9-25,8
RD	0	1	10	25	0,267	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	53,986					
Ukupno rasipanje, g	1,837					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

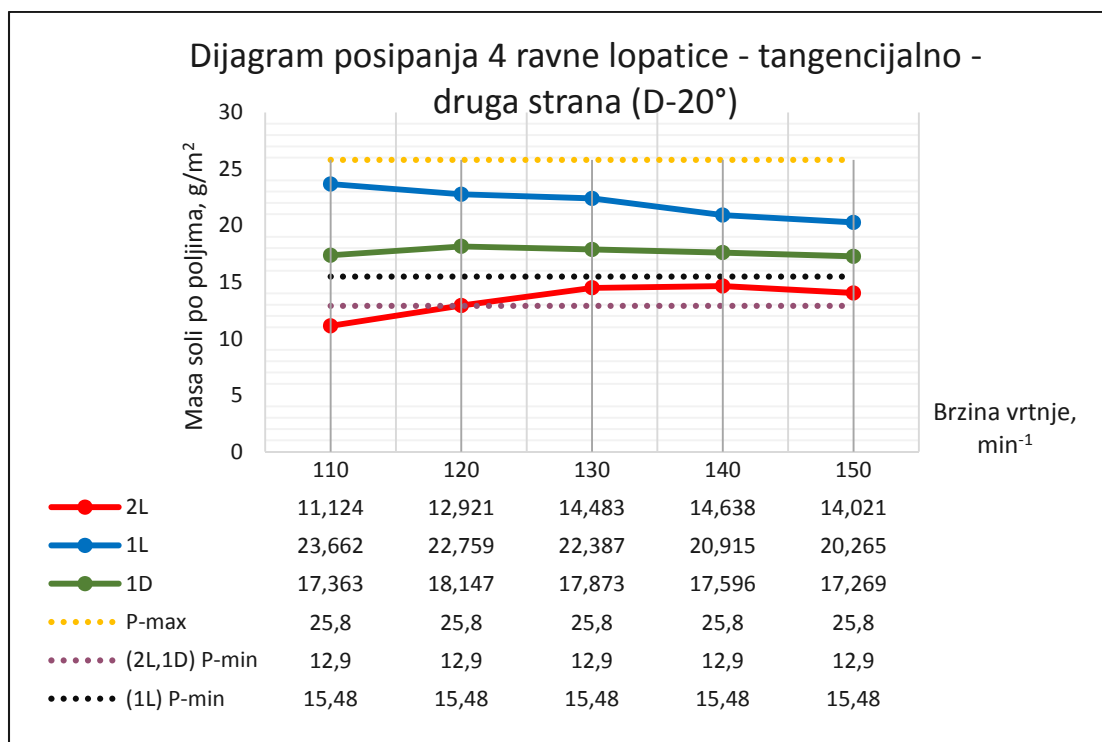
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	11	118	157	2,562	
2L	0	44	657	944	12,921	12,9 - 25,8
1L	2	85	1167	1510	22,759	15,48 - 25,8
1D	4	94	863	984	18,147	12,9-25,8
RD	0	0	18	27	0,297	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,686					
Ukupno rasipanje, g	2,859					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	13	193	277	3,798	
2L	0	43	773	1058	14,483	12,9 - 25,8
1L	3	78	1193	1433	22,387	15,48 - 25,8
1D	3	89	849	1035	17,873	12,9-25,8
RD	1	1	15	30	0,48	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,021					
Ukupno rasipanje, g	4,278					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

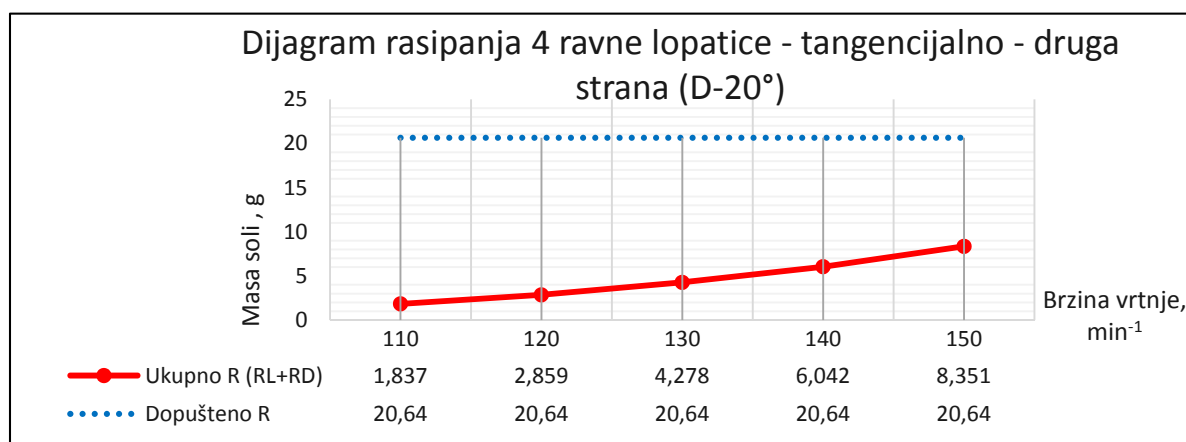
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	19	293	388	5,565	
2L	3	51	708	1037	14,638	12,9 - 25,8
1L	1	63	1134	1458	20,915	15,48 - 25,8
1D	3	91	845	966	17,596	12,9-25,8
RD	0	1	20	49	0,477	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,191					
Ukupno rasipanje, g	6,042					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	28	381	579	7,78	
2L	1	43	748	982	14,021	12,9 - 25,8
1L	1	72	1092	1310	20,265	15,48 - 25,8
1D	1	104	782	936	17,269	12,9-25,8
RD	0	0	34	53	0,571	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,906					
Ukupno rasipanje, g	8,351					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 91. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°) – 110 min⁻¹Slika 92. Rezultati 4 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°) – 150 min⁻¹



Slika 93. Dijagram posipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno – druga strana (D-20°)



Slika 94. Dijagram rasipanja 4 ravne lopatice – tangencijalno – druga strana (D-20°)

Iz dijagrama [Slika 93] vidljivo je da za brzine vrtnje od 120 min⁻¹, 130 min⁻¹ i 140 min⁻¹ posipanje zadovoljava propisane zahtjeve. Za brzinu vrtnje od 120 min⁻¹ posipanje zadovoljava zahtjeve u vidu mase po poljima, ali ne zadovoljava u vidu ukupne sakupljene mase.

Iz dijagrama [Slika 94] vidljivo je da ukupno rasipanje raste povećanjem brzine vrtnje diska, a sve vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.3.2. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-20°)

Tablica 30. Rezultati 4 konkavne lopatice – (D-20°)

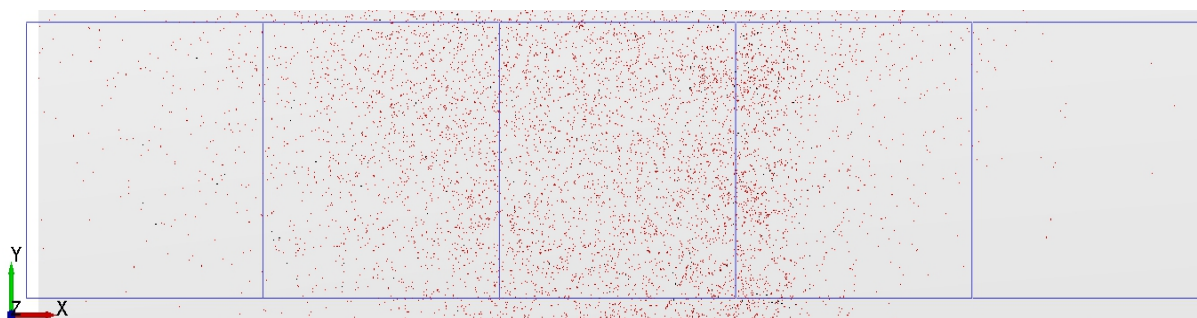
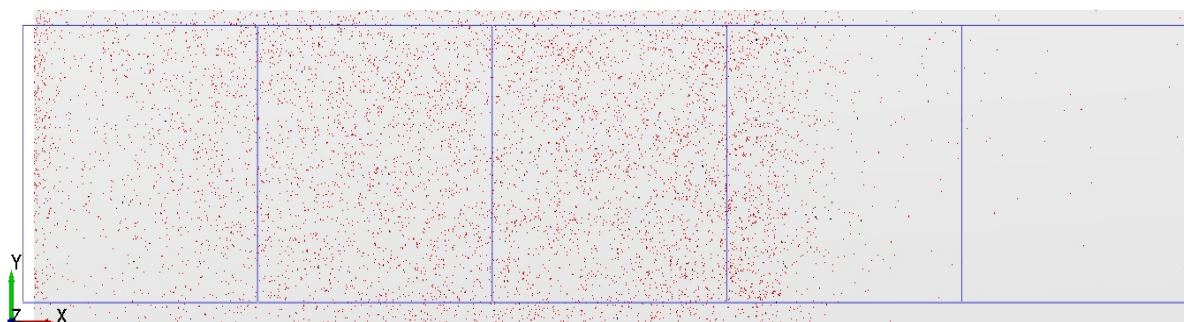
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	7	94	120	1,81	
2L	1	42	702	999	13,64	12,9 - 25,8
1L	0	85	1315	1512	23,815	15,48 - 25,8
1D	4	60	617	717	12,83	12,9-25,8
RD	0	0	14	23	0,241	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,336					
Ukupno rasipanje, g	2,051					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

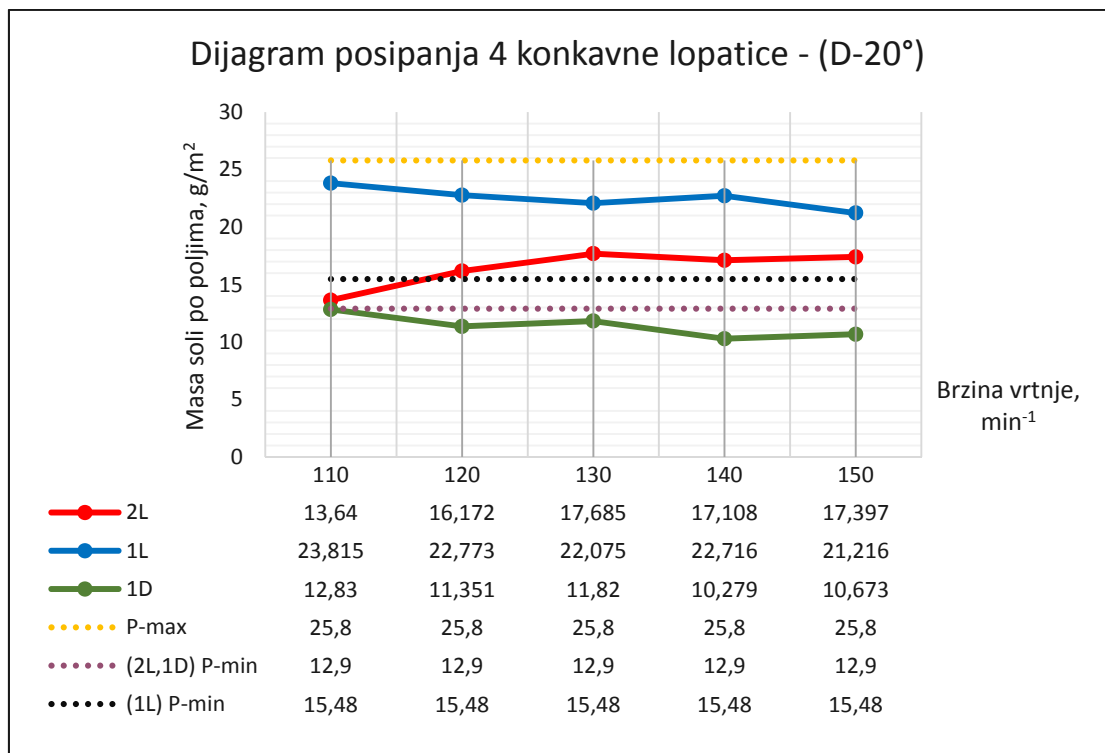
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	182	218	3,248	
2L	1	45	896	1125	16,172	12,9 - 25,8
1L	2	87	1217	1402	22,773	15,48 - 25,8
1D	3	59	531	615	11,351	12,9-25,8
RD	0	0	15	26	0,265	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	53,809					
Ukupno rasipanje, g	3,513					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	23	270	372	5,486	
2L	1	57	947	1211	17,685	12,9 - 25,8
1L	1	94	1151	1337	22,075	15,48 - 25,8
1D	1	63	579	638	11,82	12,9-25,8
RD	0	0	16	26	0,274	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,34					
Ukupno rasipanje, g	5,76					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

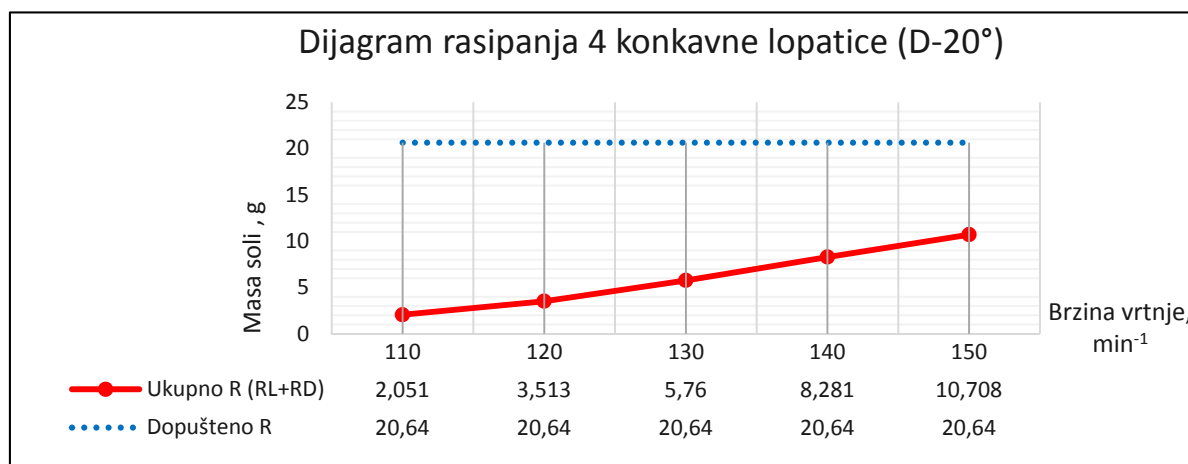
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	25	423	563	8,065	
2L	2	53	954	1096	17,108	12,9 - 25,8
1L	3	94	1186	1345	22,716	15,48 - 25,8
1D	3	66	447	479	10,279	12,9-25,8
RD	0	0	14	18	0,216	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	58,384					
Ukupno rasipanje, g	8,281					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	32	554	740	10,35	
2L	0	63	924	1161	17,397	12,9 - 25,8
1L	3	91	1085	1258	21,216	15,48 - 25,8
1D	1	61	502	568	10,673	12,9-25,8
RD	1	0	15	16	0,358	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,994					
Ukupno rasipanje, g	10,708					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 95. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-20°) – 110 min⁻¹Slika 96. Rezultati 4 konkavne lopatice (D-20°) – 150 min⁻¹



Slika 97. Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (D-20°)



Slika 98. Dijagram rasipanja 4 konkavne lopatice (D-20°)

Iz dijagrama [Slika 97] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje zadovoljava propisane zahtjeve. Za sve brzine vrtnje posipanje u poljima 2L i 1L zadovoljava zahtjeve u vidu propisane mase po poljima, dok u polju 1D ne zadovoljava niti za jednu brzinu vrtnje.

Iz dijagrama [Slika 98] vidljivo je da ukupno rasipanje raste povećanjem brzine vrtnje diska, a sve vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.3.3. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°)

Tablica 31. Rezultati 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°)

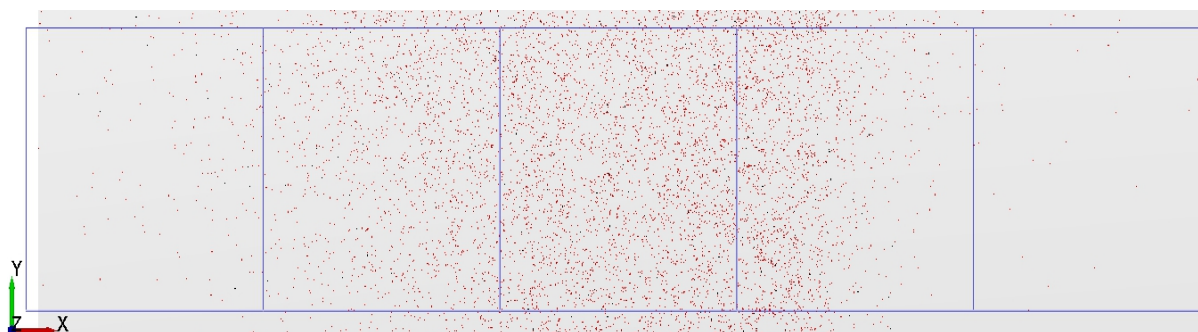
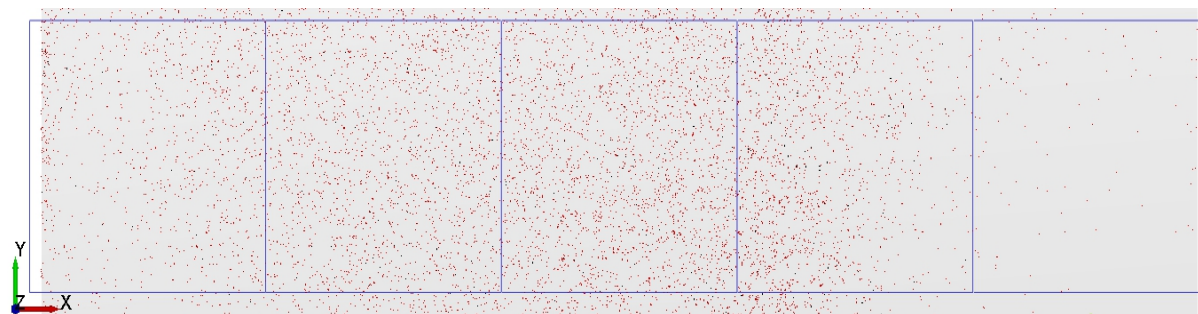
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	10	73	98	1,81	
2L	0	47	610	834	12,104	12,9 - 25,8
1L	0	92	1275	1520	23,859	15,48 - 25,8
1D	6	71	649	859	14,686	12,9-25,8
RD	0	0	12	22	0,218	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,677					
Ukupno rasipanje, g	2,028					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

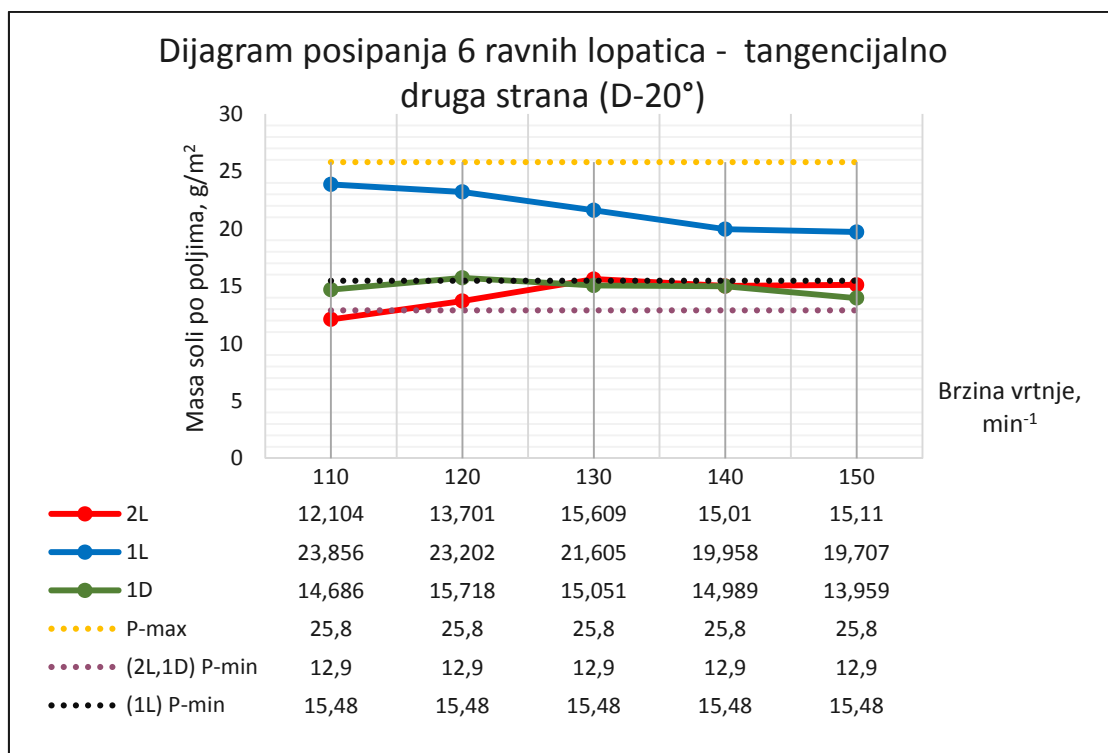
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	4	143	182	2,405	
2L	1	38	743	979	13,701	12,9 - 25,8
1L	3	87	1251	1398	23,202	15,48 - 25,8
1D	2	83	739	893	15,718	12,9-25,8
RD	0	1	25	24	0,397	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	55,423					
Ukupno rasipanje, g	2,802					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	14	209	311	4,164	
2L	0	58	822	1039	15,609	12,9 - 25,8
1L	2	73	1172	1395	21,605	15,48 - 25,8
1D	1	80	702	886	15,051	12,9-25,8
RD	0	2	23	50	0,561	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,99					
Ukupno rasipanje, g	4,725					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

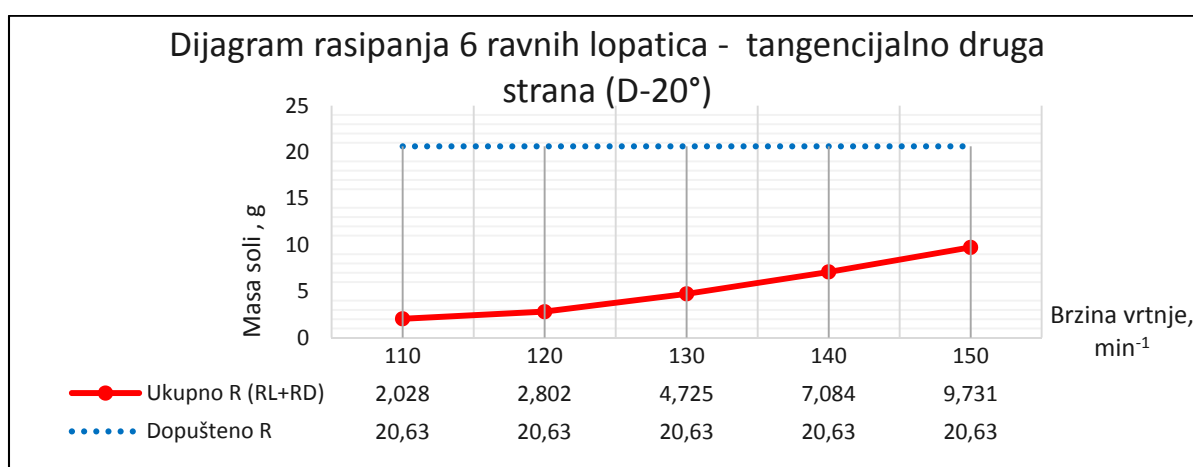
n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	26	338	410	6,444	
2L	0	57	779	1007	15,01	12,9 - 25,8
1L	2	79	1061	1203	19,958	15,48 - 25,8
1D	5	73	692	850	14,989	12,9-25,8
RD	0	0	40	56	0,64	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,041					
Ukupno rasipanje, g	7,084					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	37	434	617	8,915	
2L	0	57	784	1018	15,11	12,9 - 25,8
1L	4	71	1057	1186	19,707	15,48 - 25,8
1D	0	66	728	795	13,959	12,9-25,8
RD	0	1	46	70	0,816	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,067					
Ukupno rasipanje, g	9,731					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 99. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 110 min⁻¹Slika 100. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 150 min⁻¹



Slika 101. Dijagram posipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°)



Slika 102. Dijagram rasipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°)

Iz dijagrama [Slika 101] vidljivo je da za sve brzine vrtnje, osim za 110 min⁻¹, posipanje zadovoljava propisane zahtjeve u vidu propisane mase po poljima, ali ne zadovoljava zahtjeve za ukupnom sakupljenom masom. Najpravnomjernije posipanje je za brzinu vrtnje diska od 140 min⁻¹, gdje je razlika između masa u sva tri željena polja (2L, 1L, 1D) najmanja.

Iz dijagrama [Slika 102] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.3.4. Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°)

Tablica 32. Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°)

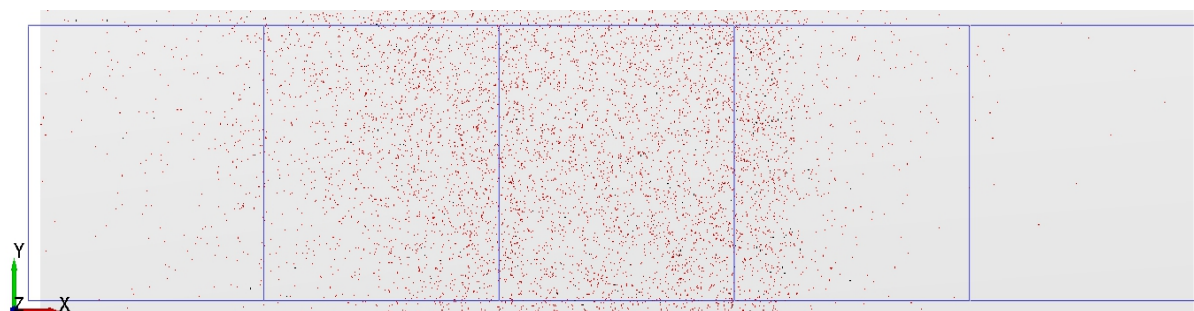
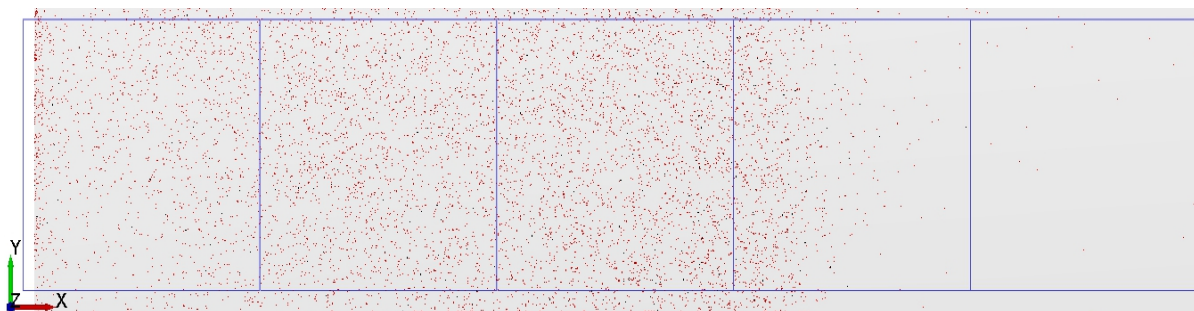
n (broj okretaja diska) - 110 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	6	115	149	2,092	
2L	1	41	858	1101	15,502	12,9 - 25,8
1L	2	86	1341	1493	24,292	15,48 - 25,8
1D	2	59	454	532	10,1	12,9-25,8
RD	0	0	7	15	0,138	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	52,124					
Ukupno rasipanje, g	2,23					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

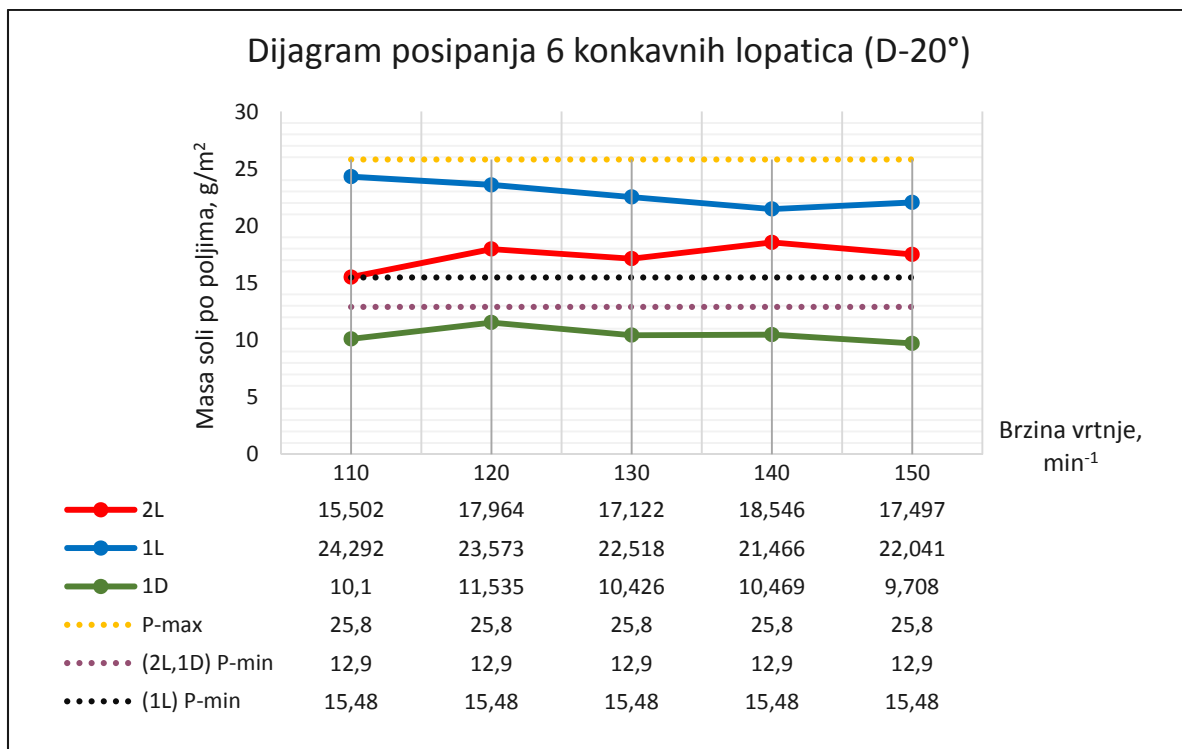
n (broj okretaja diska) - 120 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	10	191	236	3,419	
2L	2	46	1024	1214	17,964	12,9 - 25,8
1L	1	105	1225	1389	23,573	15,48 - 25,8
1D	4	75	477	554	11,535	12,9-25,8
RD	0	0	8	25	0,197	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,688					
Ukupno rasipanje, g	3,616					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	20	339	438	6,281	
2L	2	41	966	1202	17,122	12,9 - 25,8
1L	1	91	1212	1347	22,518	15,48 - 25,8
1D	3	77	417	448	10,426	12,9-25,8
RD	0	1	6	15	0,181	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	56,528					
Ukupno rasipanje, g	6,462					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

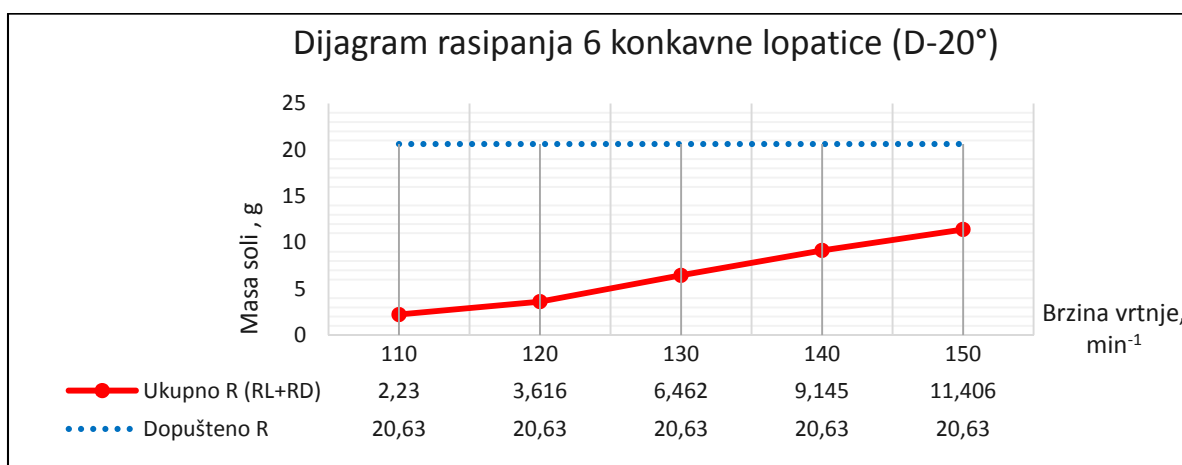
n (broj okretaja diska) - 140 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	27	468	667	8,951	
2L	2	61	1007	1205	18,546	12,9 - 25,8
1L	0	89	1142	1312	21,466	15,48 - 25,8
1D	4	64	446	511	10,469	12,9-25,8
RD	0	0	11	19	0,194	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,626					
Ukupno rasipanje, g	9,145					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	29	616	839	11,247	
2L	1	54	974	1156	17,497	12,9 - 25,8
1L	2	96	1107	1360	22,041	15,48 - 25,8
1D	5	55	427	458	9,708	12,9-25,8
RD	0	0	11	12	0,159	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	60,652					
Ukupno rasipanje, g	11,406					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 103. Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°) – 110 min⁻¹Slika 104. Rezultati 6 konkavnih lopatica (D-20°) – 150 min⁻¹



Slika 105. Dijagram posipanja 6 konkavnih lopatica (D-20°)



Slika 106. Dijagram rasipanja 6 konkavne lopatice (D-20°)

Iz dijagrama [Slika 105] vidljivo je da za sve brzine vrtnje posipanje ne zadovoljava propisane zahtjeve. U vidu propisane mase po poljima zahtjeve zadovoljava posipanje u poljima 2L i 1L za sve brzinu vrtnje.

Iz dijagrama [Slika 106] vidljivo je da ukupno rasipanje očekivano raste s povećanjem brzine vrtnje diska, ali vrijednosti rasipanja su ispod dopuštene propisane granice.

6.3.5. Zaključak rezultata s zakrenutim otvorom štitnika za 20° u desno – (D-20°)

Analizom rezultata vezanih za četiri konfiguracije posipnog diska sa zakrenutim otvorom štitnika 20° u desno, utvrđeno je da samo konfiguracija s 4 ravne lopatice postavljene tangencijalno u drugu stranu za 3 brzine vrtnje (130 min^{-1} , 140 min^{-1} i 150 min^{-1}) zadovoljava propisane zahtjeve. Najravnomjernije posipanje postignuto je za brzinu vrtnje od 140 min^{-1} . Kod konfiguracija sa 6 ravnih lopatica okrenutih na drugu stranu uočena je pojava nezadovoljavanja zahtjeva u pogledu ukupne sakupljene mase iako je zahtjev za propisanom masom po poljima bio zadovoljen. Mogući uzrok je nedovoljno vrijeme kako bi se protok ustalio. Rasipanje je u svim provedenim ispitivanjima ispod dopuštene propisane granice.

6.4. Rezultati – zakrenuti otvor štitnika za 30° u desno (D-30°)

U ovom poglavlju bit će obrađeni rezultati za disk sa 6 ravni lopatica postavljenih tangencijalno u drugom smjeru sa štitnikom čije je otvor zakrenut za 30° u desnu stranu, odnosno simetrala kuta otvora štitnika je u tlocrtu zakrenuta za 30° u desno u odnosu na uzdužnu centralnu os posipača.

6.4.1. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°)

Tablica 33. Rezultati 6 ravni lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°)

n (broj okretaja diska) - 130 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	16	171	286	3,801	
2L	0	49	743	1026	14,365	12,9 - 25,8
1L	3	82	1141	1302	21,472	15,48 - 25,8
1D	0	82	727	897	15,292	12,9-25,8
RD	0	7	32	76	1,032	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	55,962					
Ukupno rasipanje, g	4,833					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 140 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	2	21	280	412	5,958	
2L	0	54	808	1031	15,235	12,9 - 25,8
1L	2	83	1044	1272	20,358	15,48 - 25,8
1D	2	71	742	894	15,126	12,9-25,8
RD	0	9	30	60	1,038	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	57,715					
Ukupno rasipanje, g	6,996					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 150 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	28	427	519	8,037	
2L	2	52	831	1032	15,629	12,9 - 25,8
1L	1	89	985	1157	19,421	15,48 - 25,8
1D	2	75	760	900	15,526	12,9-25,8
RD	0	4	65	91	1,248	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	59,861					
Ukupno rasipanje, g	9,285					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

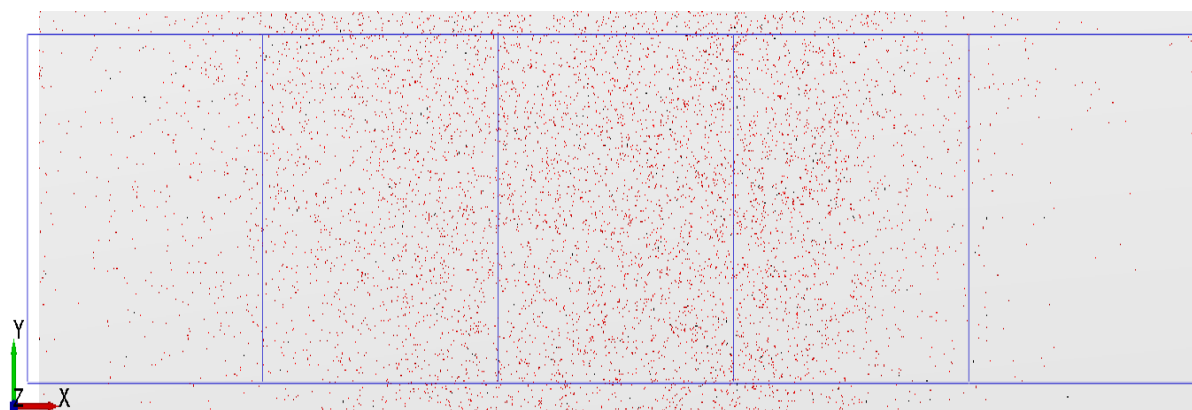
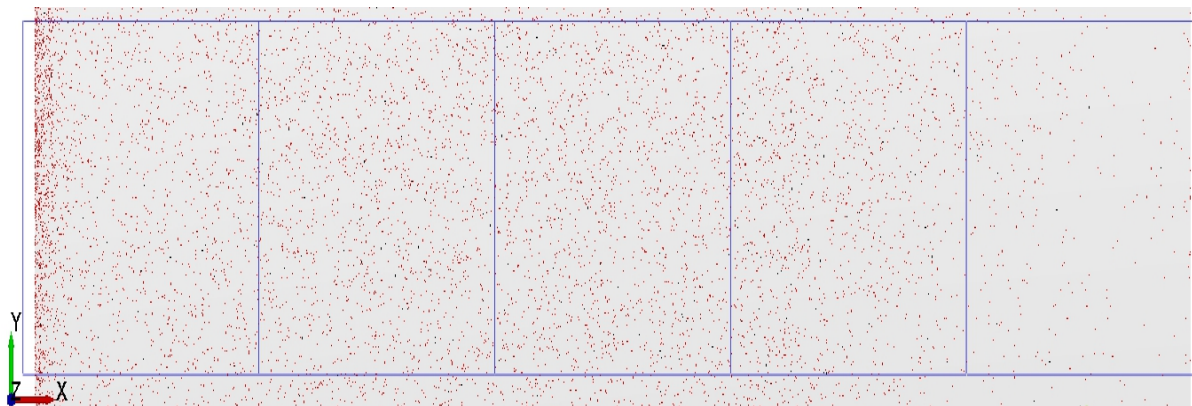
n (broj okretaja diska) - 160 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	1	45	488	727	10,51	
2L	2	60	798	1021	15,693	12,9 - 25,8
1L	0	80	972	1100	18,408	15,48 - 25,8
1D	4	78	679	825	14,864	12,9-25,8
RD	0	2	75	81	1,184	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	60,659					
Ukupno rasipanje, g	11,694					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

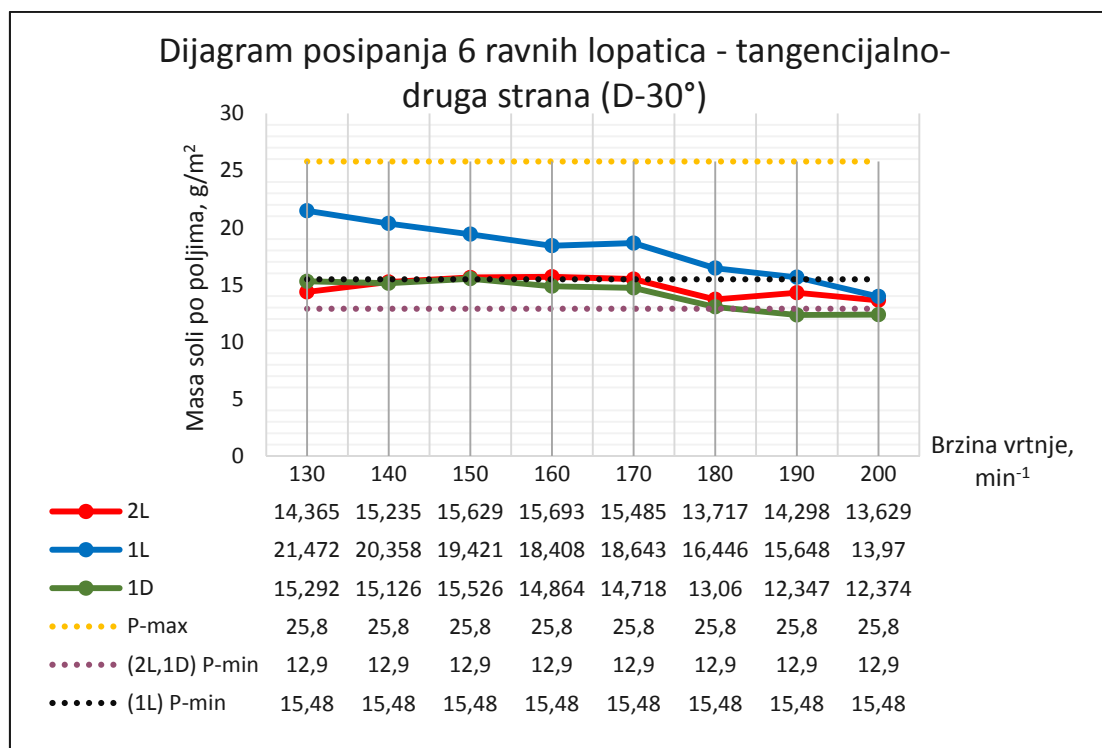
n (broj okretaja diska) - 170 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	0	55	668	866	13,202	
2L	1	52	827	1039	15,485	12,9 - 25,8
1L	4	78	965	1066	18,643	15,48 - 25,8
1D	2	80	673	843	14,718	12,9-25,8
RD	0	3	71	136	1,475	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	63,523					
Ukupno rasipanje, g	14,677					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 180 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	m _p (g/m ²)	m _{dop} (g/m ²)
RL	4	54	744	1083	15,491	
2L	2	39	722	981	13,717	12,9 - 25,8
1L	2	67	864	980	16,446	15,48 - 25,8
1D	2	67	625	733	13,06	12,9-25,8
RD	0	6	91	130	1,781	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	60,495					
Ukupno rasipanje, g	17,272					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

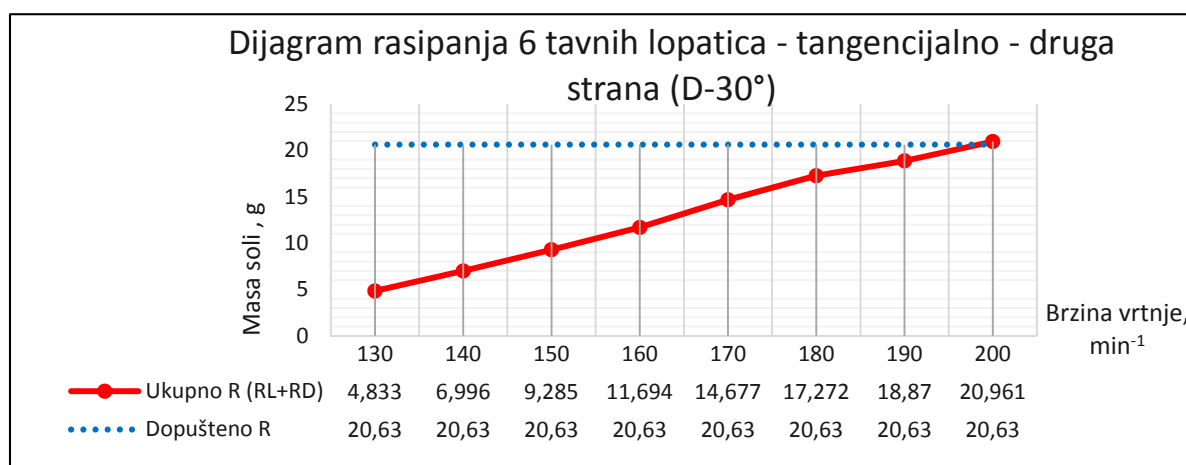
n (broj okretaja diska) - 190 min⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	(g/m ²)	(g/m ²)
RL	0	48	893	1229	16,678	
2L	1	53	726	973	14,298	12,9 - 25,8
1L	3	63	782	981	15,648	15,48 - 25,8
1D	3	69	560	658	12,347	12,9-25,8
RD	0	8	114	150	2,192	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	61,163					
Ukupno rasipanje, g	18,87					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

n (broj okretaja diska) - 200 min ⁻¹						
Veličina čestica, mm	>5	3,15-5	1,6-3,15	0,8-1,6	(g/m ²)	(g/m ²)
RL	3	53	958	1310	18,357	
2L	0	56	703	878	13,629	12,9 - 25,8
1L	3	50	749	840	13,97	15,48 - 25,8
1D	1	72	568	675	12,374	12,9-25,8
RD	1	9	122	179	2,604	
Ukupna potrebna masa, g	77,4					
Ukupna masa, g	60,934					
Ukupno rasipanje, g	20,961					
Dopušteno rasipanje, g	20,64					

Slika 107. Rezultati 6 ravnih lopatice – tangencijalno druga strana (D-30°) – 110 min⁻¹Slika 108. Rezultati 6 ravnih lopatice – tangencijalno druga strana (D-20°) – 200 min⁻¹



Slika 109. Dijagram posipanja 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°)

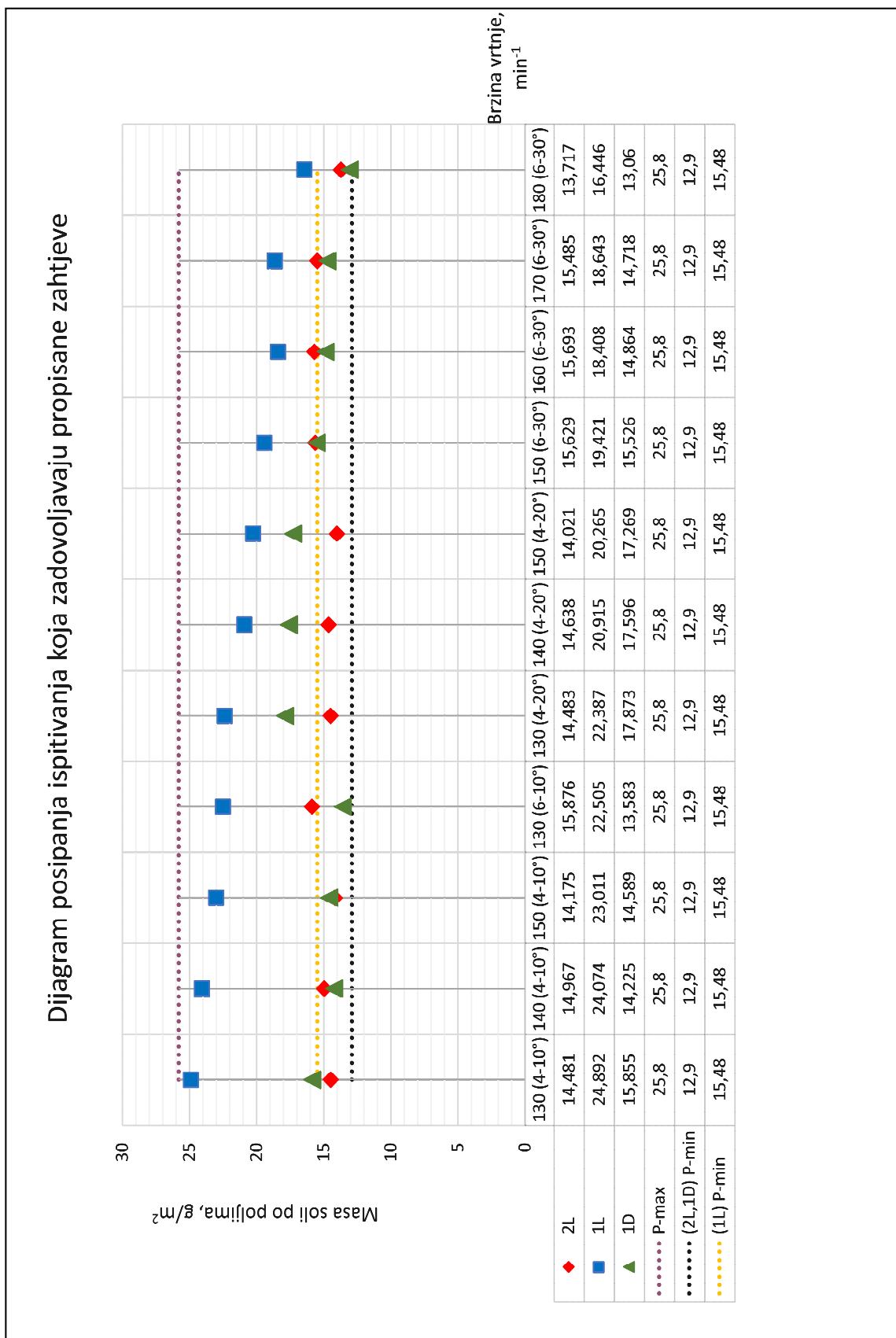


Slika 110. Dijagram rasipanja 6 ravne lopatice – tangencijalno druga strana (D-30°)

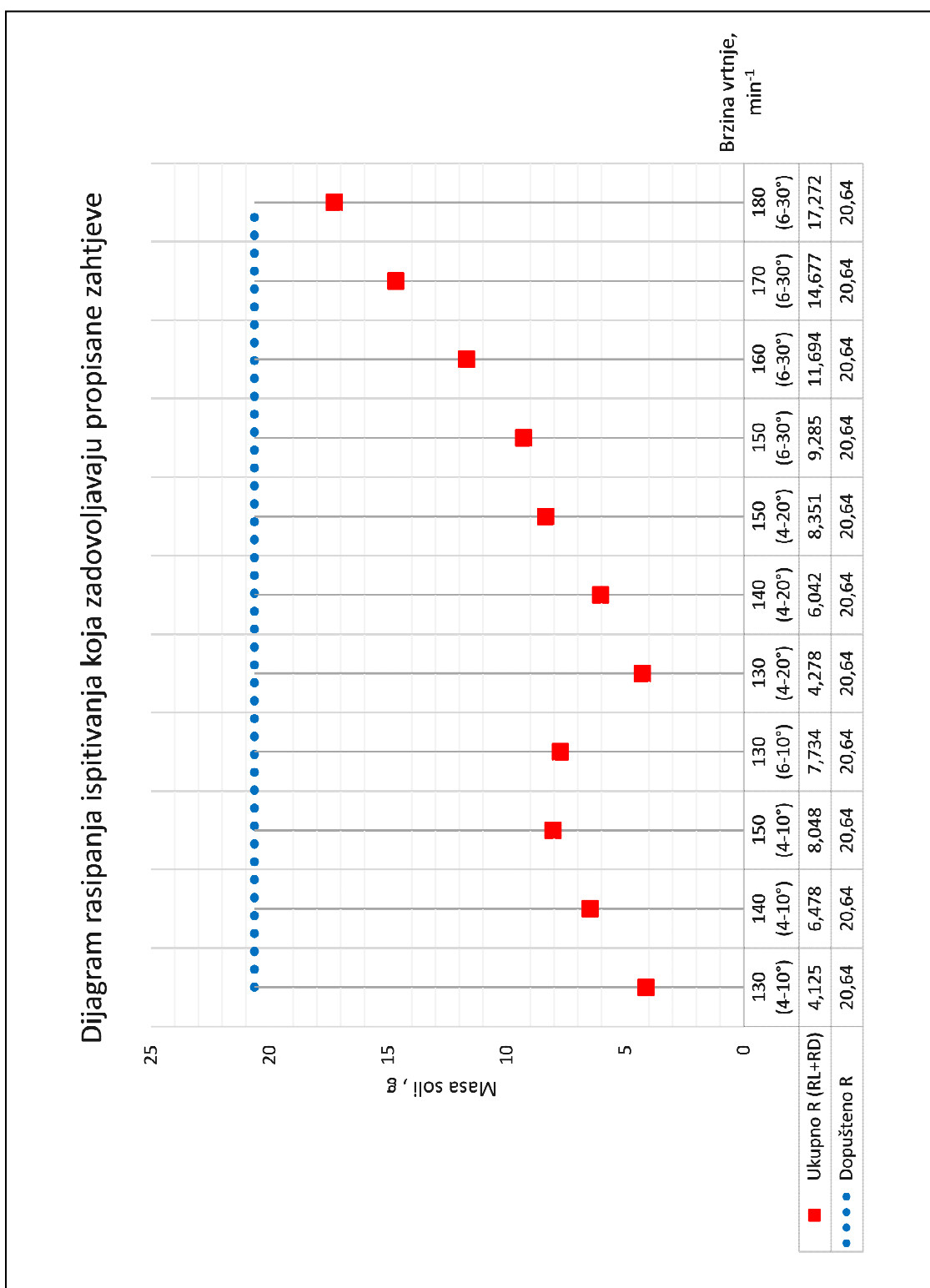
Iz dijagrama [Slika 109] vidljivo je da za brzine vrtnje od 150 min⁻¹, 160 min⁻¹, 170 min⁻¹ i 180 min⁻¹ posipanje zadovoljava propisane zahtjeve. U vidu propisane mase po poljima, zahtjeve zadovoljavaju i posipanja za brzine vrtnje od 130 min⁻¹ i 140 min⁻¹, ali ne zadovoljavaju zahtjev o ukupnoj sakupljenoj masi.

Iz dijagrama [Slika 110] vidljivo je da su vrijednosti ukupnog rasipanje za sve brzine vrtnje, osim za 200 min⁻¹, ispod dopuštene propisane granice.

6.5. Usporedba ispitivanja koja zadovoljavaju sve propisane zahtjeve



Slika 111. Dijagram posipanja ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve



Slika 112. Dijagram rasipanja ispitivanja koja zadovoljavaju propisane zahtjeve

Vrijednosti posipanja, koja su najbliža srednjoj vrijednosti tolerancijskog polja posipanja, za polje 2L postignuta su u sljedećim ispitivanjima:

- 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°) – 130 min⁻¹;
- 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°) – 150 min⁻¹, 160 min⁻¹, 170 min⁻¹.

Vrijednosti posipanja, koja su najbliža srednjoj vrijednosti tolerancijskog polja posipanja, za polje 1L postignuta su u sljedećim ispitivanjima:

- 4 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 140 min⁻¹, 150 min⁻¹;
- 6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°) – 150 min⁻¹, 160 min⁻¹, 170 min⁻¹.

Vrijednosti posipanja, koja su najbliža srednjoj vrijednosti tolerancijskog polja posipanja, za polje 1D postignuta su u sljedećim ispitivanjima:

- 4 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 130 min⁻¹, 140 min⁻¹, 150 min⁻¹.

Vrijednosti rasipanja [Slika 112] su najniža za sljedeća ispitivanja:

- 4 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-10°) – 130 min⁻¹,
- 4 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-20°) – 130 min⁻¹.

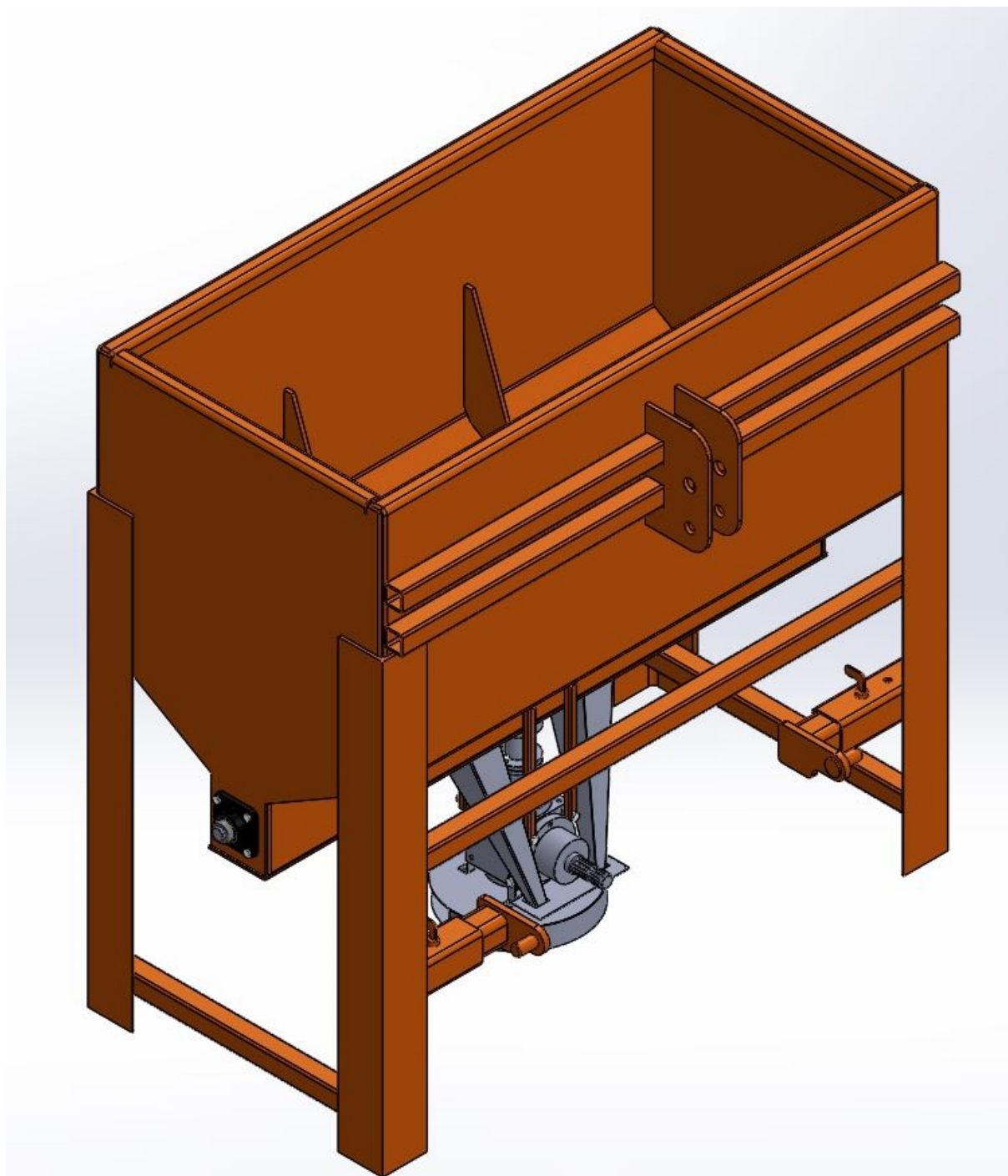
Na temelju podataka prikazanih na dijagramu posipanja [Slika 111] najpravnomjernije posipanje postignuto je korištenjem 6 ravnih lopatica postavljenih tangencijalno u drugu stranu za brzinu vrtnje od 150 min⁻¹ s otvorom diska pomaknutog u desno za 30°.

Odabrana konfiguracija parametara:

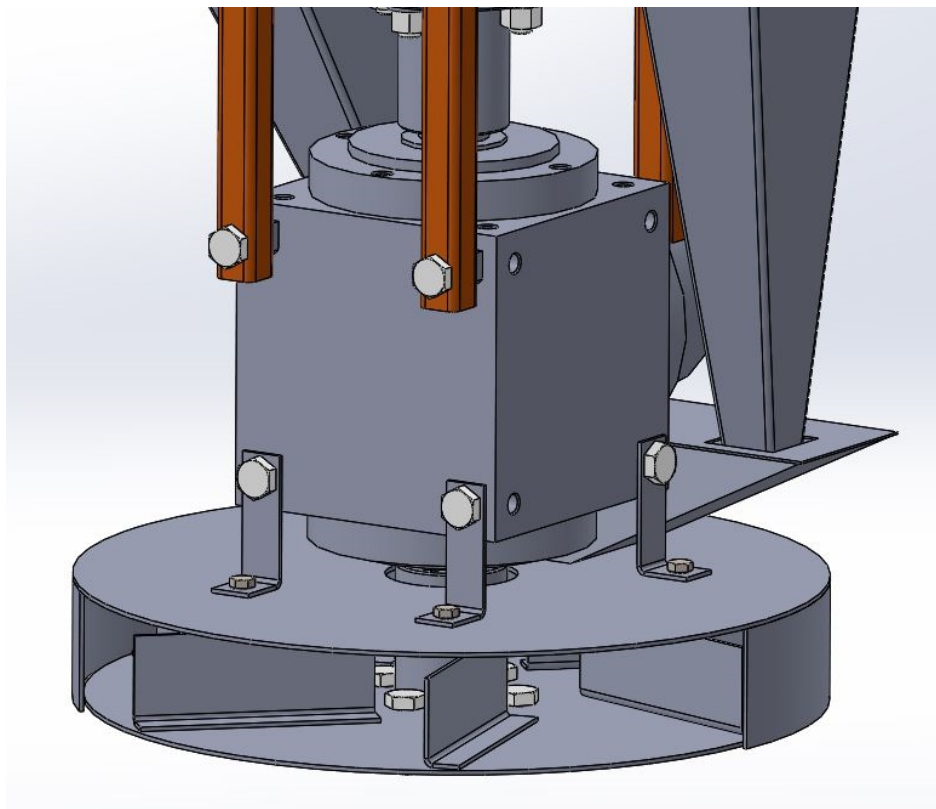
- **6 ravnih lopatica – tangencijalno druga strana (D-30°) – 150 min⁻¹.**

7. PRIKAZ POSIPAČA I SUSTAVA ZA DISTRIBUCIJU POSIPNOG MATERIJALA

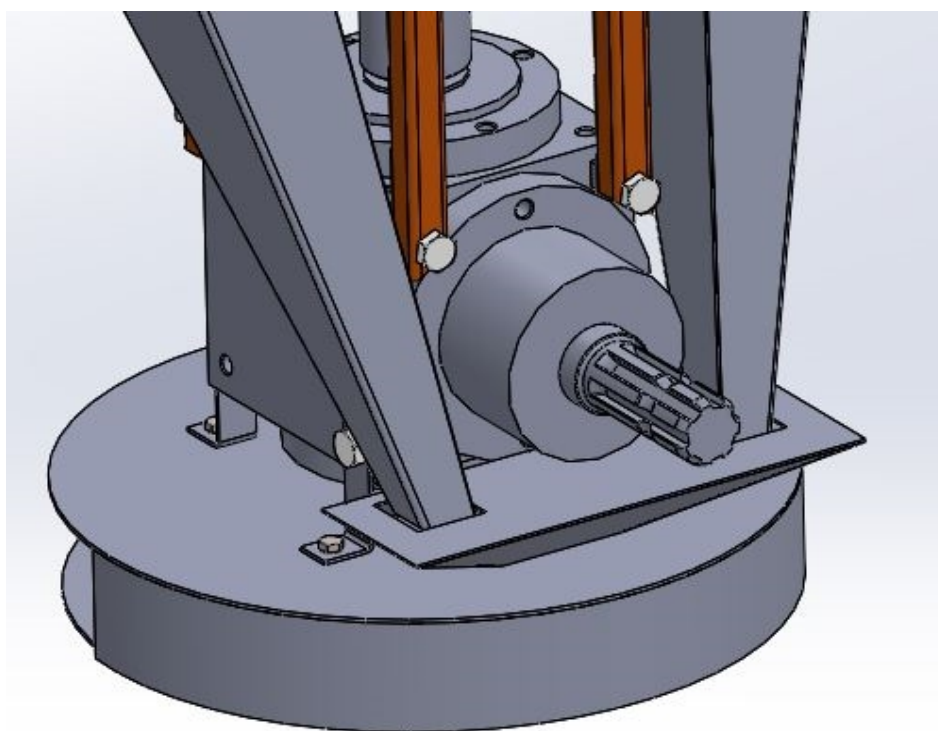
Na [Slika 113] prikazana je izometrija posipača, a na [Slika 114] i [Slika 115] detalji distribucijskog sustava sa sabirnim i vertikalnim lijevcima.



Slika 113. Izometrija traktorskog posipača



Slika 114. Detalj distribucijskog sustava



Slika 115. Detalj distribucijskog sustava sa sabirnim i vertikalnim lijevcima

8. ZAKLJUČAK

U ovom je radu provedena analiza posipanja česticama soli pomoću metode diskretnih elemenata. Korištenjem virtualnog ispitivanja s različitim parametrima (vrsta i broj lopatica, brzina vrtnje posipnog diska te položaj otvora štitnika) tražena je kombinacija parametara koja zadovoljava rigorozne kriterije propisane normama i pravilnicima u području zimskog održavanja prometnica. Sveukupno je 11 ispitivanja zadovoljilo propisane zahtjeve. Na temelju međusobne usporedbe tih ispitivanja, odabrano je konstrukcijsko rješenje sa 6 ravnih lopatica postavljenih tangencijalno na drugu stranu s brzinom vrtnje posipnog diska od 150 min^{-1} . Odabrano rješenje postiglo je najravnomjernije posipanje u svim željenim poljima.

Pomoću virtualnog ispitivanja uočeni su potencijalni problemi, poput grupiranja čestica soli oko središnje osi posipača za ravne lopatice postavljene radijalno i tangencijalno. Takvo rano otkrivanje potencijalnih problema smanjuje mogućnost pojave potencijalno skupih grešaka u kasnijim fazama razvoja proizvoda. Također, skraćuje se potrebno vrijeme te smanjuju resursi potrebni za optimiranje konstrukcije.

U daljnjem razvoju i optimiranju konstrukcije potrebno je provesti analizu za različite veličine otvora štitnika kao i veličine posipnog diska. Pomoću metode diskretnih elemenata moguće je optimirati i sustav za dobavu posipnog materijala, gdje bi se proučavalo ponašanje posipnog materijala u koritu transportnog puža s ciljem postizanja nesmetanog i ravnomjernog protoka koji je osnovna pretpostavka za postizanje ravnomjernog posipanja.

LITERATURA

- [1] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [2] <http://www.usroads.com/journals/p/rmj/9712/rm971202.htm>
- [3] http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_07_90_1826.html
- [4] http://www.eunited.net/municipal_equipment/upload/Spreader_Test/EUnited_test_solid_liquid_2014-04-30_E.pdf
- [5] <http://www.edemsimulation.com/>
- [6] Alfirević, I.; Virag Z.: Inženjerski priručnik: Osnovne jednačbe mehanike fluida, Školska knjiga, 1996.
- [7] Virag Z.: Mehanika fluida: Odabrana poglavlja, primjeri i zadaci, FSB, 2011.
- [8] Filetin, T.; Kovačiček F.; Indolf J.: Svojstva i primjena materijala, FSB, 2007.
- [9] Ščap, D.: Transportni uređaji, FSB, 2004.
- [10] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1988.

PRILOZI

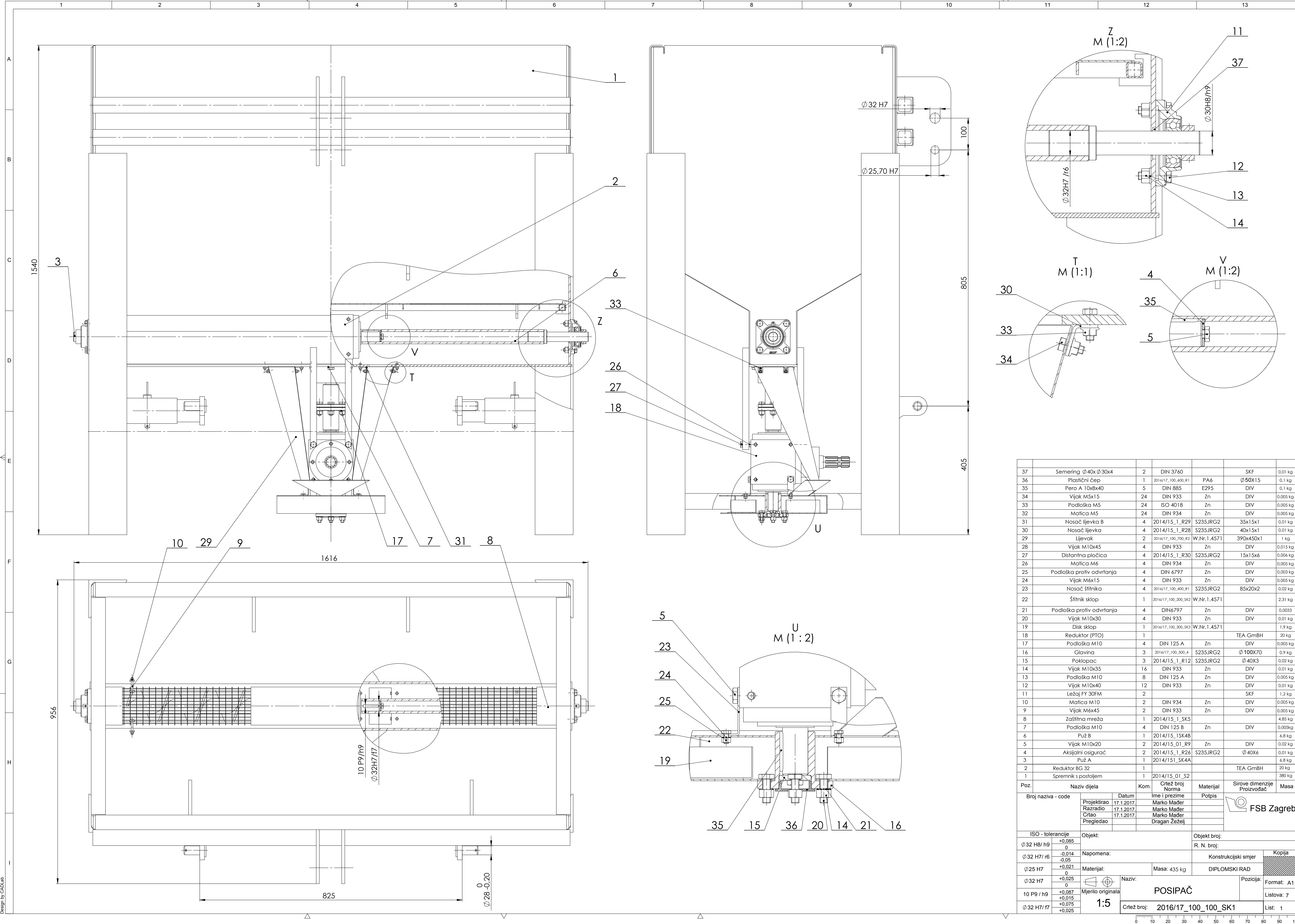
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD
Prilog II: Tehnička dokumentacija

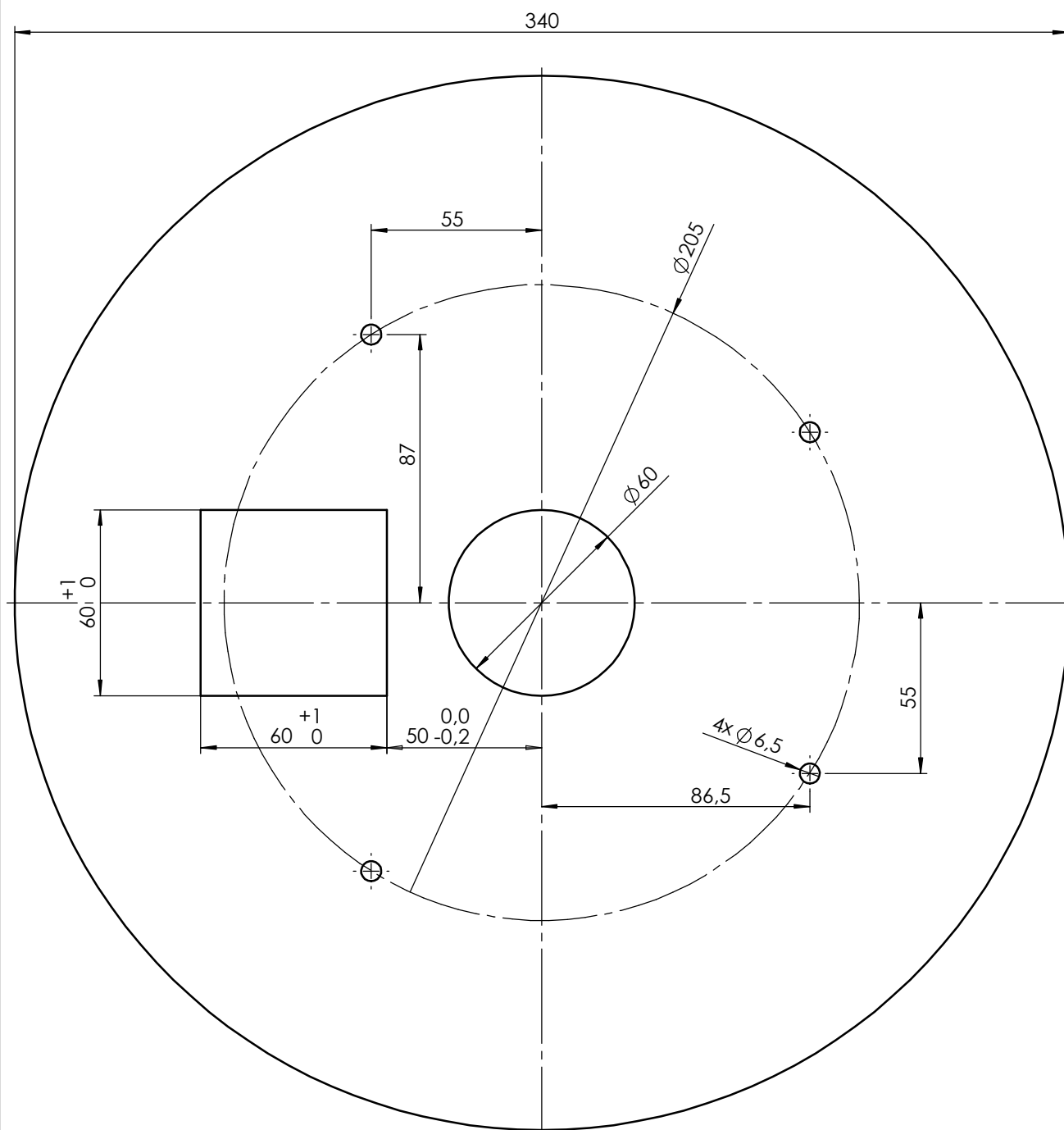
Marko Mader

Zagreb, 2017.



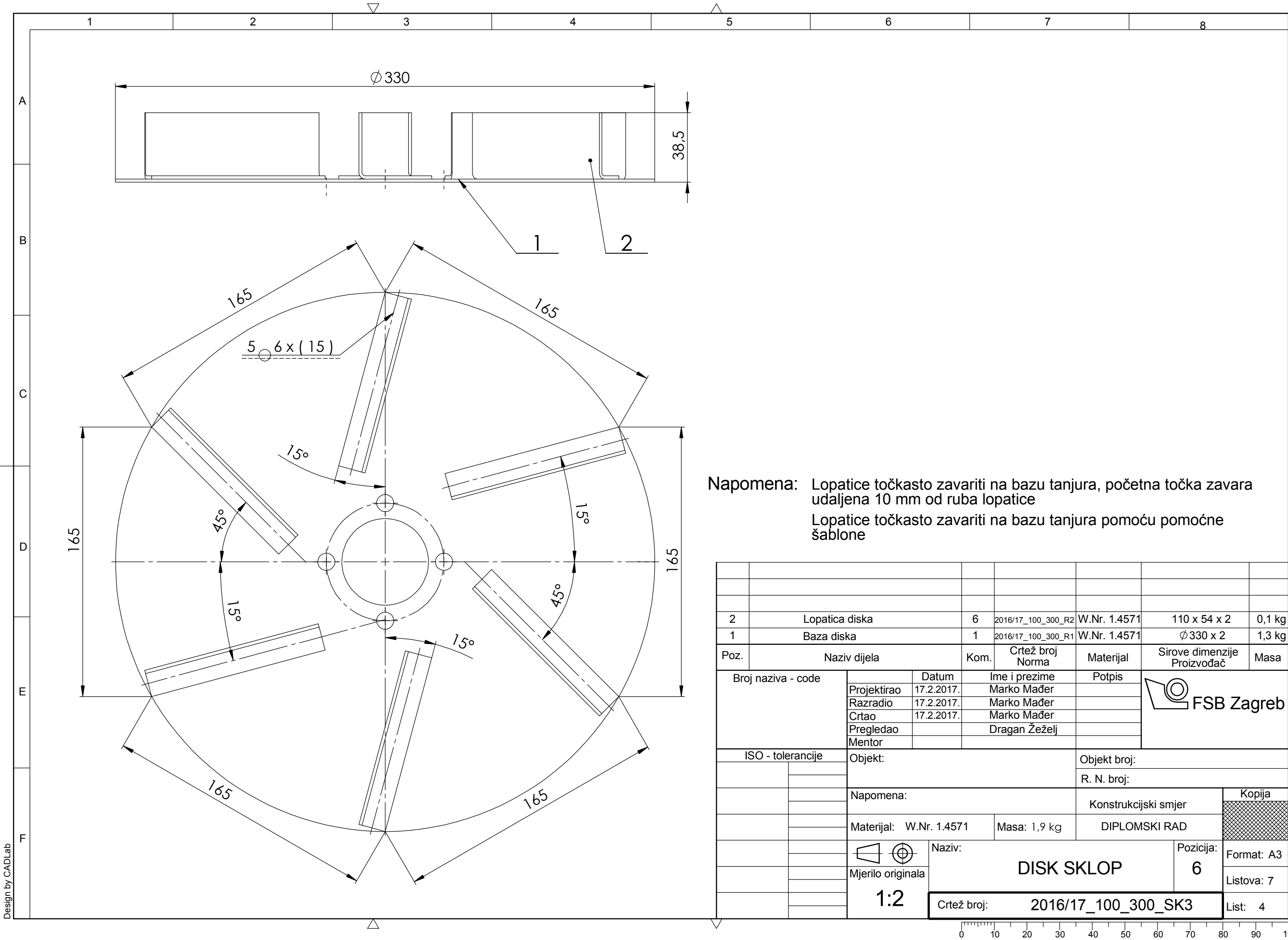
37	Semering $\varnothing 40 \times \varnothing 30 \times 4$	2	DIN 3760		SKF	0.01 kg	
36	Plastični čep	1	2016/17_100_400_R1	PA6	$\varnothing 50 \times 15$	0.1 kg	
35	Pero A 10x8x40	5	DIN 885	E295	DIV	0.1 kg	
34	Vijak M5x15	24	DIN 933	Zn	DIV	0.005 kg	
33	Podloška M5	24	ISO 4018	Zn	DIV	0.005 kg	
32	Matica M5	24	DIN 934	Zn	DIV	0.005 kg	
31	Nosač lijevka B	4	2014/15_1_R29	S235JRG2	35x15x1	0.01 kg	
30	Nosač lijevka	4	2014/15_1_R28	S235JRG2	40x15x1	0.01 kg	
29	Ljevak	2	2016/17_100_700_R2	W.Nr.1.4571	390x450x1	1 kg	
28	Vijak M10x45	4	DIN 933	Zn	DIV	0.015 kg	
27	Distantna pločica	4	2014/15_1_R30	S235JRG2	15x15x6	0.006 kg	
26	Matica M6	4	DIN 934	Zn	DIV	0.005 kg	
25	Podloška protiv odvrtanja	4	DIN 6797	Zn	DIV	0.003 kg	
24	Vijak M6x15	4	DIN 933	Zn	DIV	0.005 kg	
23	Nosač štitnika	4	2016/17_100_400_R1	S235JRG2	85x20x2	0.02 kg	
22	Štitnik sklop	1	2016/17_100_200_SK2	W.Nr.1.4571		2.31 kg	
21	Podloška protiv odvrtanja	4	DIN6797	Zn	DIV	0.0033	
20	Vijak M10x30	4	DIN 933	Zn	DIV	0.01 kg	
19	Disk sklop	1	2016/17_100_300_SK3	W.Nr.1.4571		1.9 kg	
18	Reduktor (PTO)	1			TEA GmbH	20 kg	
17	Podloška M10	4	DIN 125 A	Zn	DIV	0.005 kg	
16	Glavina	3	2016/17_100_500_4	S235JRG2	$\varnothing 100 \times 70$	0.9 kg	
15	Poklopac	3	2014/15_1_R12	S235JRG2	$\varnothing 40 \times 3$	0.02 kg	
14	Vijak M10x35	16	DIN 933	Zn	DIV	0.01 kg	
13	Podloška M10	8	DIN 125 A	Zn	DIV	0.005 kg	
12	Vijak M10x40	12	DIN 933	Zn	DIV	0.01 kg	
11	Ležaj FY 30FM	2			SKF	1.2 kg	
10	Matica M10	2	DIN 934	Zn	DIV	0.005 kg	
9	Vijak M6x45	2	DIN 933	Zn	DIV	0.005 kg	
8	Zaštitna mreža	1	2014/15_1_SK5			4.85 kg	
7	Podloška M10	4	DIN 125 B	Zn	DIV	0.005kg	
6	Puž B	1	2014/15_1SK48			6.8 kg	
5	Vijak M10x20	2	2014/15_01_R9	Zn	DIV	0.02 kg	
4	Aksijsalni osigurač	2	2014/15_1_R26	S235JRG2	$\varnothing 40 \times 6$	0.01 kg	
3	Puž A	1	2014/151_SK4A			6.8 kg	
2	Reduktor BG 32	1			TEA GmbH	20 kg	
1	Spremnik s postoljem	1	2014/15_01_S2			380 kg	
Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Poltipis		FSB Zagreb
		Projektirao	Marko Mader				
		Razradio	Marko Mader				
		Crtao	Marko Mader				
		Pregledao	Dragan Žeželj				
ISO - tolerancije			Objekt:		Objekt broj:		
$\varnothing 32$ H8/ h9			Napomena:		R. N. broj:		
$\varnothing 32$ H7/ r6			Materijal:		Konstrukcijski smjer		Kopija
$\varnothing 25$ H7			Masa: 435 kg		DIPLOMSKI RAD		
$\varnothing 32$ H7			Naziv:		Pozicija:		Format: A1
10 P9 / h9			Mjerilo originala		Listova: 7		
$\varnothing 32$ H7/ f7			1:5		List: 1		
			Crtež broj: 2016/17_100_100_SK1				
<div><div>0</div><div>10</div><div>20</div><div>30</div><div>40</div><div>50</div><div>60</div><div>70</div><div>80</div><div>90</div></div>							

✓ Ra 3,2





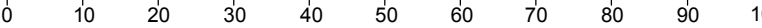
t=2 mm

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Razradio	16.1.2017.	Marko Mađer		
Crtao	16.1.2017.	Marko Mađer		
Pregledao		Dragan Žeželj		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena: Laserom rezati Nakon rezanja skinuti srh			Konstruktivski smjer	Kopija
Materijal: W.Nr. 1.4571		Masa: 1,31 kg	DIPLOMSKI RAD	
Naziv: Baza štitnika			Pozicija: 1	
Mjerilo originala: 1:2			Format: A4	
Crtež broj: 2016/17_100_200_R1			Listova: 7	List: 3

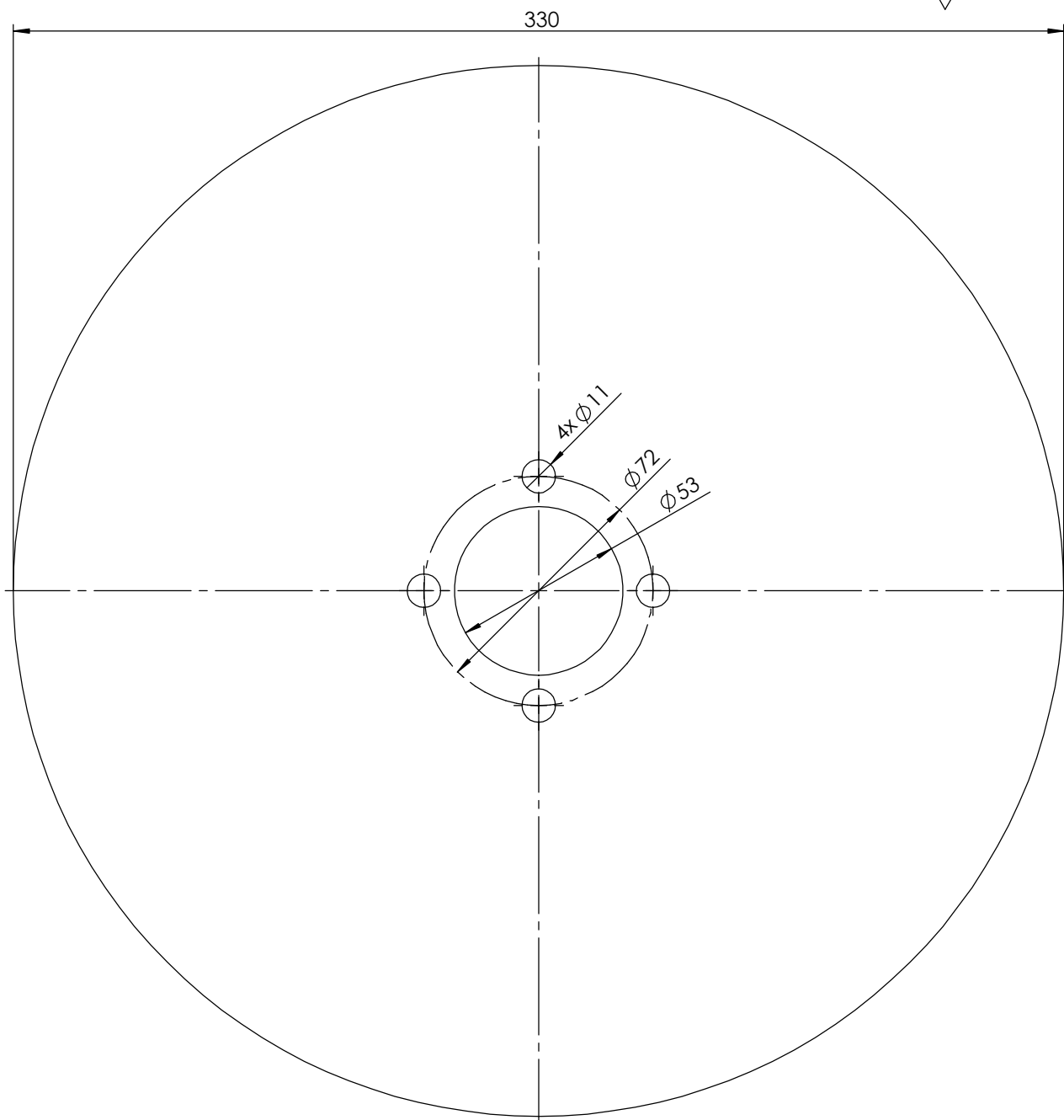


Napomena: Lopatice točkasto zavariti na bazu tanjura, početna točka zavora udaljena 10 mm od ruba lopatice
Lopaticice točkasto zavariti na bazu tanjura pomoću pomoćne šablone

2	Lopatica diska		6	2016/17_100_300_R2	W.Nr. 1.4571	110 x 54 x 2	0,1 kg
1	Baza diska		1	2016/17_100_300_R1	W.Nr. 1.4571	Ø 330 x 2	1,3 kg
Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	17.2.2017.	Marko Mađer			
		Razradio	17.2.2017.	Marko Mađer			
		Crtao	17.2.2017.	Marko Mađer			
		Pregledao		Dragan Žeželj			
Mentor							
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:		
					R. N. broj:		
		Napomena:			Konstrukcijski smjer		Kopija
		Materijal: W.Nr. 1.4571		Masa: 1,9 kg	DIPLOMSKI RAD		
			Naziv:			Pozicija:	Format: A3
		Mjerilo originala	DISK SKLOP			6	Listova: 7
		1:2	Crtež broj: 2016/17_100_300_SK3			List: 4	



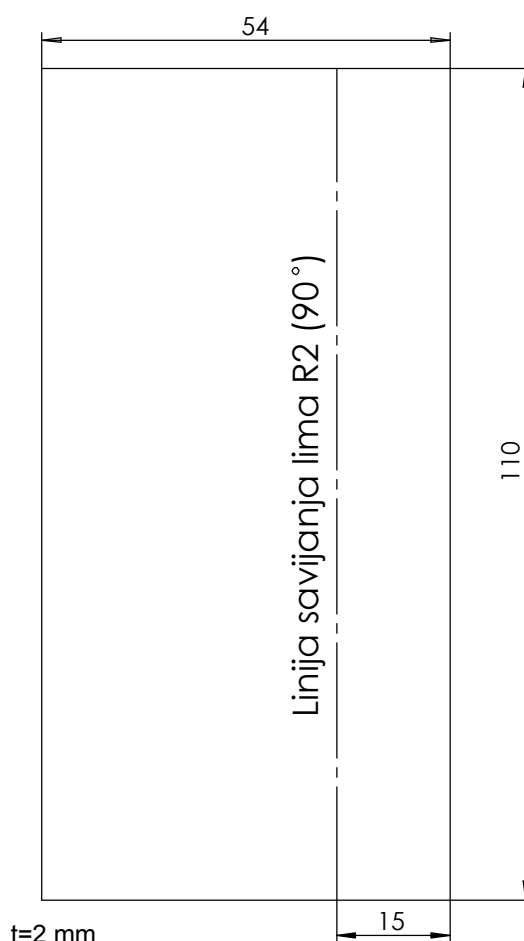
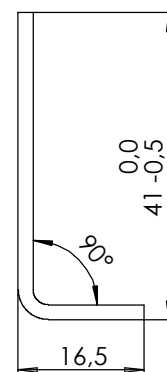
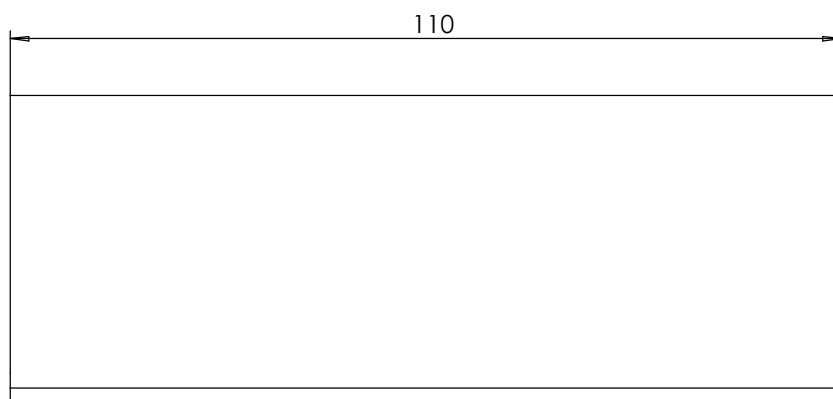
√ Ra 3,2



t=2 mm

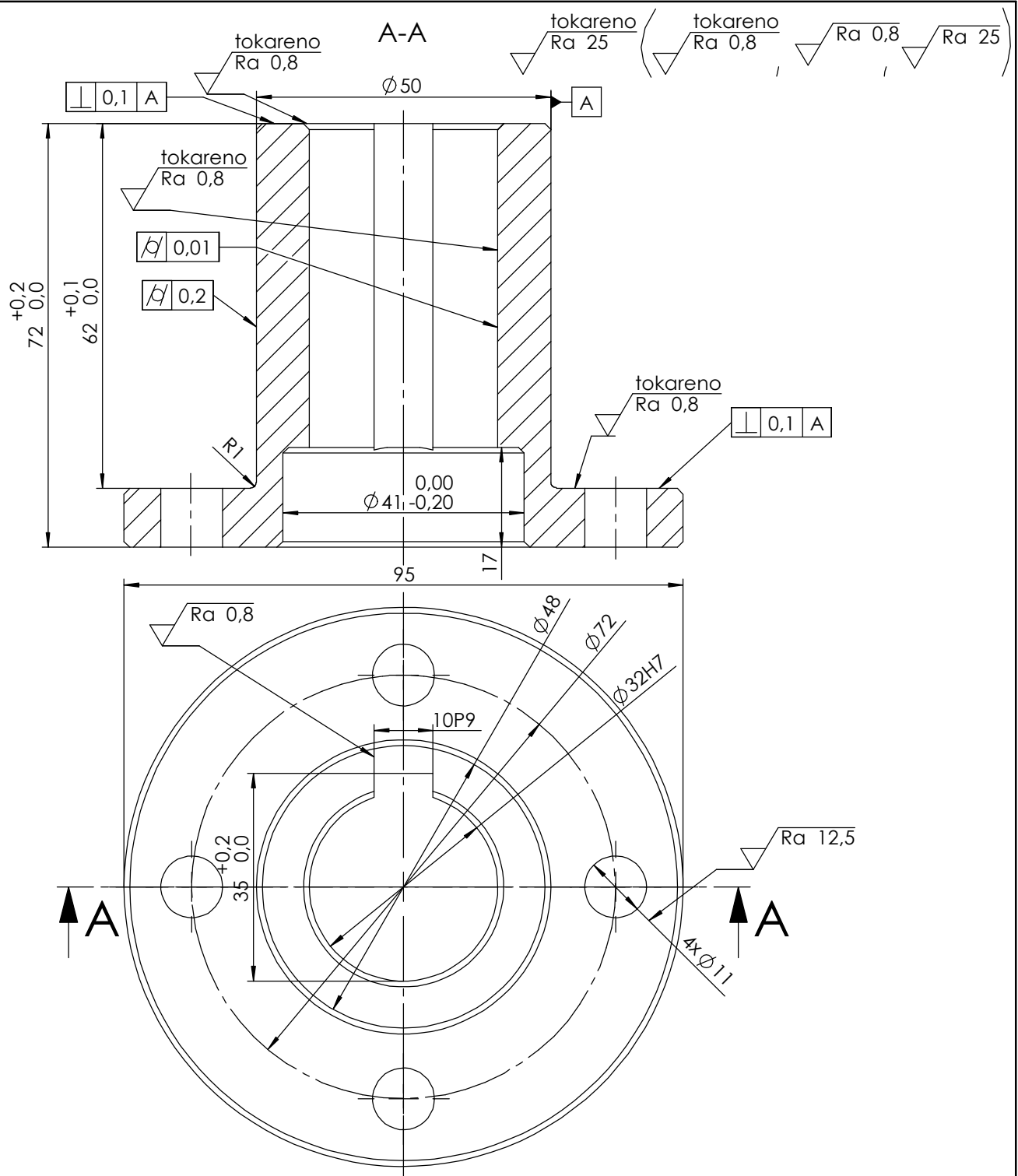
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	16.1.2017.	Marko Mađer		
Razradio	16.1.2017.	Marko Mađer		
Crtao	16.1.2017.	Marko Mađer		
Pregledao		Dragan Žeželj		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena: Laserom rezati Nakon rezanja skinuti srh		Konstruktivski smjer	Kopija	
Materijal:	W.Nr. 1.4571	Masa: 1,3 kg	DIPLOMSKI RAD	
 Mjerilo originala 1:2	Naziv: Baza diska		Pozicija: 1	Format: A4 Listova: 7 List: 5
Crtež broj: 2016/17_100_300_R1				

✓ Ra 3,2



t=2 mm

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	16.1.2017.	Marko Mađer		
Razradio	16.1.2017.	Marko Mađer		
Crtao	16.1.2017.	Marko Mađer		
Pregledao		Dragan Žeželj		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena: Nakon rezanja skinuti srh		Konstruktivski smjer	Kopija	
Materijal:	W.Nr. 1.4571	Masa: 0,1 kg	DIPLOMSKI RAD	
 Mjerilo originala 1:5	Naziv: Lopatica diska		Pozicija: 2	Format: A4 Listova: 7 List: 6
Crtež broj: 2016/17_100_300_R2				



Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div>	
		Projektirao	16.1.2017.	Marko Mađer					
		Razradio	16.1.2017.	Marko Mađer					
		Crtao	16.1.2017.	Marko Mađer					
		Pregledao		Dragan Žeželj					
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:			
Ø 32H9	+0,025					R. N. broj:			
	+0,0								
10P9	-0,015	Napomena: Sva nekotirana skošenja iznose 1x45 °				Konstrukcijski smjer		Kopija	
	-0,051								
		Materijal: S235JRG2		Masa: 1,3 kg		DIPLOMSKI RAD			
		<div></div>		Naziv: Glavina				Pozicija: 16	Format: A4
									Mjerilo originala 1:1
		Crtež broj: 2016/17_100_500_R1						List: 7	